CIDADES INTELIGENTES 360

Caderno Técnico

Serviços da Infraestrutura Urbana

Secretaria de Desenvolvimento Econômico

SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO SÃO PAULO SÃO TODOS

CIDADES INTELIGENTES 360

Caderno Técnico

Serviços da Infraestrutura Urbana

Secretaria de Desenvolvimento Econômico

SÃO PAULO GOVERNO DO ESTADO SÃO PAULO SÃO TODOS

São Paulo, 2025

©Secretaria do Desenvolvimento Econômico
Av. Escola Politécnica, 82 –
Jaguaré
CEP 05350-000
São Paulo SP
Telefone 55 (11) 3718-6500

© Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT
Av. Professor Almeida Prado, 532 –
Cidade Universitária "Armando Salles Oliveira
CEP 05508-901
São Paulo SP
Telefone 55 (11) 3767-4000
e-mail ipt@ipt.br
www.ipt.br

Cidades Inteligentes: Cadernos técnicos
Coordenadores
Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo – IPT (malu@ipt.br)
Caio Olmos Marinelli – SDE (comarinelli@sde.sp.gov.br)

Cidades Inteligentes: Caderno Técnico Serviços da Infraestrutura Urbana

Coordenador: Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)
Autores (ordem alfabética): Ademar Hakuo Ushima; Ana Paula de Souza Silva; Antonio Francisco Gentil Ferreira Junior; Cecilia Emi Yamanaka Matsumura; Claudia Echevengua Teixeira; Eduardo Berruezo; Fernanda Peixoto Maneo; Filipe Antonio Marques Falcetta; Giuliana Del Nero Velasco; Heloisa Burkhardt Antonoff; Karina Meschini Batista G. Porto; Kleber Jesus de Oliveira; Leticia dos Santos Macedo; Ligia Antunes Almagro Alves de Souza; Luciano Zanella; Marcelo Sanches Dias; Maria Luiza Otero D Almeida Lamardo; Mariana Fonseca Veloso Silva; Olga Satomi Yoshida; Oswaldo Sanchez Junior; Renato de França; Sérgio Brazolin.

Autores dos Anexos: A e C (Maria Luiza Otero D Almeida Lamardo); B (Adriana Camargo Brito; Adriano Galindo Leal; Cristina Maria Ferreira da Silva; Denis Bruno Virissimo; Wagner Luiz Gava).

Apoio:
Edna Baptista dos Santos Gubitoso (bibliografias); Augusto Max Colin, Luiz Gustavo Pinto de Moraes Silviano e Rita de Cassia Parise (revisão do projeto gráfico e de imagens); Luciana Casciny Pacífico (Anexo A); Nereide de Oliveira (Anexo A)

Projeto Gráfico e Diagramação
Phábrica de Produções:
Alecsander Coelho, Daniela Bissiguini, Érsio Ribeiro, Kauê Rodrigues,
Paulo Ciola, Rebeca Tonello, Thiago Cordeiro

Capa
Freepik / Phábrica de Produções

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Cadernos técnicos cidades inteligentes [livro eletrônico] : caderno técnico serviço da infraestrutura urbana / [coordenação Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo, Caio Olmos Marinelli, Oswaldo Sanchez Junior]. -- 1. ed. -- São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2025. -- (IPT Publicação ; 3077)
PDF
Vários autores.
Bibliografia.
ISBN: 978-65-5702-051-7
1. Cidades inteligentes 2. Infraestrutura - Administração 3. Infraestrutura urbana 4. Meio ambiente - Aspectos sociais 5. Planejamento urbano 6. Sustentabilidade ambiental I. Lamardo, Maria Luiza Otero D'Almeida. II. Marinelli, Caio Olmos. III. Sanchez Junior, Oswaldo. IV. Série.

25-315833.0 CDD-307.14

Índices para catálogo sistemático:
1. Infraestrutura verde : Ecologia urbana 307.14
Aline Graziele Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Apresentação

O processo de urbanização crescente tem remetido a questões que precisam ser contornadas para que seus sintomas não venham interferir de modo negativo no funcionamento das cidades e na qualidade de vida dos cidadãos.

Hoje é necessário ter um olhar mais abrangente sobre as cidades, que devem ser funcionais em todos os seus aspectos, além de preparadas para reagir ou minimizar os efeitos de eventos adversos.

Um dos grandes desafios enfrentados pelos gestores municipais é o de tornar suas cidades inteligentes. Neste contexto, a Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, SDE, teve a iniciativa de, com o apoio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, elaborar cinco cadernos técnicos, em temas essenciais para uma cidade, abordando conceitos e pontos relevantes relacionados a cidades inteligentes. Os temas dos cadernos técnicos são os indicados a seguir.

- Caderno Técnico Governança e Planejamento Urbano
- Caderno Técnico Conectividade
- Caderno Técnico Mobilidade Urbana
- Caderno Técnico Serviços
- Caderno Técnico Segurança

Espera-se com esta iniciativa fornecer, para as prefeituras do Estado de São Paulo, um quadro diverso de conceito e soluções, que, embora não tratado de forma exaustiva, venha apoiar os gestores municipais na construção e execução de seus planejamentos, visando tornar seus respectivos municípios Cidades Inteligentes.

Sumário

1. Introdução 9

1.1 Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis 10

1.2 Os Cadernos Técnicos 13

1.3 O Caderno Técnico Serviços da Infraestrutura Urbana 13

2. Tratamento e Abastecimento de Águas 16

2.1 Sistemas de Tratamento e Abastecimento 16

2.2 Políticas Federais 17

2.3 Políticas Estaduais 21

2.4 Desafios para a Gestão Municipal 22

2.5 Sistemas Inteligentes Aplicados ao Setor 24

2.6 Tendencias em Tratamento e Abastecimento de Água 26

3. Drenagem Urbana 29

3.1 Desafios na Drenagem Urbana 30

3.2 Sistemas Inteligentes Aplicáveis 31

3.3 Tendencias em Drenagem Urbana 32

4. Coleta e Tratamento de Esgoto 34

4.1 Planos de Saneamento Básico 35

4.2 Quadro Geral para o Estado de São Paulo 36

4.3 Composição do Sistema de Captação e Tratamento 37

4.4 Desafios para a Gestão Municipal 38

4.5 Sistemas Inteligentes para Captação e Tratamento 39

4.6 Tendências na Captação e Tratamento de Esgoto 40

5. Gestão da Arborização Urbana 43

5.1 Planejamento 44

5.2 Implantação 47

5.3 Manutenção 49

5.4 Gestão Participativa 51

6. Gestão de Resíduos Sólidos 54

6.1 Gestão de Resíduos Sólidos nos Municípios 54

6.2 Aspectos e Soluções Inteligentes em Resíduos Sólidos 55

6.3 Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos 59

6.4 Processamento de Resíduos Sólidos 60

6.5 Disposição Final de Resíduos 64

6.6 Exemplos de Municípios com Gestão Inteligente 65

7. Produção e Distribuição de Energia Elétrica 70
7.1 Composição dos Sistemas 70
7.2 Desafios na Produção e Distribuição de Energia 71
7.3 Planejamento e Nexo Água-Energia-Alimentos 72
7.4 Sistemas Inteligentes Aplicáveis à Gestão 73
7.5 Tendências em Energia Elétrica 74

8. Produção e Distribuição de Gás e Combustíveis 77
8.1 Produção de Combustíveis Renováveis: Principais Aspectos 78
8.2 Qualidade dos Combustíveis Renováveis e Não Renováveis: Aspectos Importantes 85
8.3 Iniciativas para Substituir Combustíveis Fósseis por Renováveis no Estado de São Paulo 88
8.4 Questões relacionadas à distribuição de gás e combustíveis 89
8.5 Considerações sobre a Distribuição e Uso do Gás 93

9. Iluminação Pública 97
9.1 Composição dos Sistemas 97
9.2 Iluminação Pública e Sinalização Viária 98
9.3 Desafios nos Serviços de Iluminação 99
9.4 Sistemas Inteligentes Aplicáveis 99
9.5 Tendências em Iluminação Pública 101

10. Serviços de saúde 105
10.1 Descrição do Setor 105
10.2 Desafios do Setor de Eletromédicos 107
10.3 Desafios para os Municípios 108
10.4 Sistemas Inteligentes na Saúde Pública 109
10.5 Iniciativas nos Sistemas Municipais 110

Autores dos Capítulos de 1 a 10 113

Anexos 114
Anexo A – Documentos legais e normas técnicas 115
Anexo B – Inteligência Artificial: conceitos e desafios 120
Anexo C – Indicadores para cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis 128

100 mL
0
20
40
60

1 Introdução

Cidades são ambientes complexos que trazem muitos desafios aos seus gestores, entre eles o de as tornarem sustentáveis, inteligentes e resilientes, conceitos que interagem entre si (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Interação entre Cidades sustentáveis, inteligentes e resilientes

Fonte: Autor

Ao considerar o cidadão em sua totalidade — tanto como demandante de qualidade de vida quanto como gerador de impactos, como a produção de resíduos — torna-se evidente que a crescente migração do campo para as cidades no Brasil (Tabela 1.1) amplia significativamente os desafios enfrentados pelos gestores municipais. Esse processo tende a agravar questões urbanas que, se não forem adequadamente enfrentadas, podem comprometer o funcionamento das cidades e impactar negativamente a qualidade de vida da população.

Tabela 1.1 – Brasil 1960-2022 – População residente.

Censo	População em área urbana (milhões)	População em área rural (milhões)	População total (milhões)	População em área urbana (%)	População em área rural (%)
1960	32,0	39,0	71,0	45,1	54,9
1970	52,9	41,6	94,5	56,0	44,0
1980	82,0	39,1	121,1	67,7	32,3
1991	110,9	36,0	146,9	75,5	24,5
2000	137,8	31,8	169,6	81,3	18,8
2010	160,9	29,8	190,7	84,4	15,6
2022	177,5	25,6	203,1	87,4	12,6

Fonte: Censo IBGE (2010)1 e Siqueira e Britto (2024)2

A tendência de migração do campo para as cidades não é apenas no Brasil, mas mundial. Segundo o relatório *World Population Prospects 2024*[3], das Nações Unidas, a população mundial que em 2024 atingiu 8,2 bilhões de pessoas deverá atingir 10,3 bilhões na década de 2080, e, então, permanecer ao redor desse valor. A migração do campo para a cidade também deverá ocorrer de forma relativamente significativa, chegando a 70% por volta de 2050[3,4].

Ao caminhar no sentido de tornar suas cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis, os gestores municipais devem estar cientes de que não há soluções padronizadas e universais para tal e, tampouco, modelos prontos para replicarem. Frequentemente soluções existentes devem ser adaptadas.

Particularidades, especificidades e singularidades locais devem ser consideradas na elaboração do planejamento de cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis. Deste modo, é importante:

- **planejar** (estabelecer objetivos e processos necessários para obter resultados de acordo com os propósitos da comunidade);
- **fazer** (implementar processos e alcançar metas);
- **acompanhar** (monitorar e medir processos frente à política, objetivos e compromissos da comunidade, e relatar os resultados);
- **corrigir** (tomar medidas necessárias para melhorar o desempenho).

Como o que não se mede, não se conhece, não se controla e não se melhora, é fundamental que cada gestor municipal defina os indicadores e métricas relevantes, que servirão como parâmetros de referência em sua cidade (ver Anexo C).

1.1 Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

Cidades Inteligentes

Muitas são as definições de cidades inteligentes, provavelmente pelo termo inteligente ser de certa forma vago e, assim, permitir várias interpretações. Há a questão de conferir à cidade a capacidade de sentir e reagir de maneira dinâmica a situações simples e complexas com auxílio de tecnologias e,

principalmente, com infraestrutura para aquisição e processamento massivos de dados e há, também, a questão de criar condições sociais e institucionais melhores para o capital humano. É desejável que a abordagem a essas questões sejam complementares.

A Carta Brasileira Cidades Inteligentes[5] traz a definição abaixo transcrita para cidades inteligentes:

> Cidades inteligentes são cidades comprometidas com o desenvolvimento urbano e a transformação digital sustentáveis, em seus aspectos econômico, ambiental e sociocultural, que atuam de forma planejada, inovadora, inclusiva e em rede, promovem o letramento digital, a governança e a gestão colaborativas e utilizam tecnologias para solucionar problemas concretos, criar oportunidades, oferecer serviços com eficiência, reduzir desigualdades, aumentar a resiliência e melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas, garantindo o uso seguro e responsável de dados e das tecnologias da informação e comunicação.

A norma ABNT NBR ISO 37122 [6] traz no seu item 3.4 a definição abaixo transcrita para cidades inteligentes:

> Cidade que aumenta o ritmo em que proporciona resultados de sustentabilidade social, econômica e ambiental e que responde a desafios como mudanças climáticas, rápido crescimento populacional e instabilidade de ordem política e econômica, melhorando fundamentalmente a forma como engaja a sociedade, aplica métodos de liderança colaborativa, trabalha por meio de disciplinas e sistemas municipais e usa informações de dados e tecnologias modernas para fornecer melhores serviços e qualidade de vida para os que nela habitam (residentes, empresas e visitantes), agora e no futuro previsível, sem desvantagens injustas ou degradação do ambiente natural.

Cidades Resilientes

Cidades resilientes são aquelas que têm capacidade de se recuperar rapidamente de impactos causados por desastres, humanos ou naturais. Também têm capacidade de prever os impactos causados por esses desastres e de se antecipar a eles.

A norma ABNT NBR ISO 37123[7] traz no seu item 3.7 a definição abaixo transcrita para cidades resilientes:

> Cidade capaz de preparar-se, recuperar-se e adaptar-se aos choque e tensões.

Cidades Sustentáveis

Cidades sustentáveis são aquelas que adotam uma abordagem holística e não compartimentada, facilitando a cooperação de todas as partes interessadas em construir um sistema de gestão voltado para desenvolvimento sustentável.

O desafio do desenvolvimento sustentável é global, mas as estratégias para alcançá-lo nas cidades são locais e podem ser diferentes de cidade para cidade. Cada cidade deve respeitar seus *limites planetários* e considerar as limitações impostas por eles. A norma ABNT NBR ISO 37101[8] define, em sua introdução, o conceito de *limites planetários* como abaixo transcrito.

> O conceito de 'limites planetários' descreve um *framework* no qual a humanidade necessita viver, de forma a continuar a se desenvolver e prosperar para as próximas gerações. Mudanças climáticas, consumo de água, mudanças no uso do solo e perda da biodiversidade são exemplos de limites planetários. Ultrapassar estes limites pode gerar mudanças ambientais bruscas e irreversíveis, ao passo que respeitá-los reduz riscos significativamente. Limites planetários podem ser desagregados, de forma a selecionar medidas que podem ser atribuídas ao nível da comunidade, levando em conta uma situação específica.

Sustentabilidade e suas derivadas

O conceito de Sustentabilidade surgiu em 1987 com um relatório das Nações Unidas[9]que chamava a atenção para a importância de se ter um desenvolvimento sustentável, para garantir às necessidades do presente e também das gerações futuras. Ao longo dos anos, de modo incremental, ações foram surgindo, tendo em mente que o desenvolvimento sustentável deve ser dinâmico e atender o futuro e as necessidades presentes, conforme indica o relatório das Nações Unidas (Figura 1.2).

Figura 1.2 – Ações relacionada ao desenvolvimento sustentável

Fonte: Autor, 2025

Dentre as derivadas relacionadas ao desenvolvimento sustentável merece destaque a Agenda 2030 e a questão do Clima.

Agenda 2030

A Agenda 2030[10] é um plano global proposto pelas Nações Unidas em 2015 e adotado por seus países membros que tem como principal objetivo promover o desenvolvimento sustentável em suas dimensões econômica, social e ambiental até o ano de 2030. Ela é baseada em 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, que abordam questões sociais, econômicas e ambientais (Figura 1.3).

Figura 1.3 – Objetivos do desenvolvimento Sustentável (ODS)

Fonte: Nações Unidas Brasil , 2025 [10]

Clima (CPOs)

As Conferências das Partes (COPs) de países membros das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, tem como objetivo maior conter o aquecimento da temperatura do planeta, por meio da estabilização das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa (GEE), limitando ou reduzindo suas emissões. Os gases de efeito estufa são: o dióxido de carbono (CO_2); o metano (CH_4); o oxido nitroso (N_2O), o ozônio (O_3) e os gases fluoretados.

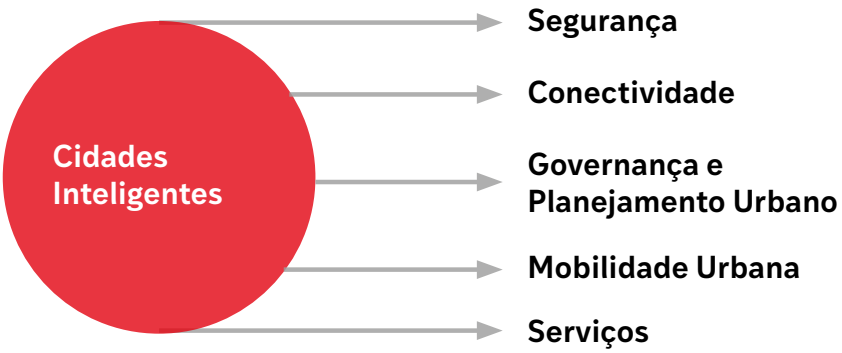
Entre os principais acordos sobre o clima estão o Protocolo de Kyoto[11], por propor metas de controle para os gases de efeito estufa e introduzir a possibilidade do carbono tornar-se uma moeda de troca e o Acordo de Paris [12], pelo compromisso de manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de buscar esforços para limitar aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. Tão importante quanto às questões climáticas é a preservação dos recursos naturais e da biodiversidade.

1.2 Os Cadernos Técnicos

Para apoiar os gestores municipais, cinco cadernos técnicos foram elaborados (Figura 1.4), tendo como foco principal cidades inteligentes, as quais possuem três qualidades[13]: a primeira é ser "instrumentada", com capacidade de capturar dados do mundo real de dispositivos pessoais, sensores e aparelhos; a segunda é ser "interconectada", capaz de transmitir os dados entre diferentes serviços da cidade; e a terceira é ser "inteligente", o que implica o uso de ferramentas analíticas para otimizar as atividades operacionais.

Embora o tema principal seja cidades inteligentes, os cadernos também abordam, ainda que de forma secundária, aspectos das cidades sustentáveis e resilientes

Figura 1.4 –Cadernos Técnicos



Fonte: Autores, 2025

Os cadernos técnicos não pretendem esgotar os temas tratados, mas apenas pontuar questões consideradas primordiais em cada tema. Espera-se que as informações neles contidas sirvam de apoio aos gestores municipais no processo de tornar suas cidades mais inteligentes.

1.3 O Caderno Técnico Serviços da Infraestrutura Urbana

O Caderno Técnico Serviços, referente à infraestrutura urbana municipal, aborda tópicos de relevância para os gestores municipais. Para cada tópico constará uma abordagem descritiva, apresentando, quando possível, exemplos de tecnologias e seus benefícios entre outros aspectos. No que diz respeito às cidades inteligentes, cada especificidade trará os aspectos associados à gestão do serviço que usufruem, ou podem usufruir, das tecnologias atuais de Tecnologias Digitais aplicadas.

Este caderno é composto, além do capítulo de Introdução, pelos seguintes capítulos:

- Tratamento e abastecimento de água (capítulo 2)
- Drenagem urbana (capítulo 3)
- Captação e tratamento de esgoto (capítulo4)
- Gestão e manejo de infraestrutura verdes (capítulo 5)
- Gestão de resíduos sólidos (capítulo 6)
- Produção e distribuição de energia elétrica (capítulo 7)
- Produção e distribuição de gás (capítulo 8)
- Iluminação pública (capítulo 9)
- Serviços de saúde (capítulo 10)

Além dos capítulos mencionados o Caderno Técnico Serviços traz três Anexos, que complementam as informações trazidas nos capítulos:

- Anexo A – Documentos legais e normas técnicas
- Anexo B – Inteligencia artificial: conceitos e desafios
- Anexo C – Indicadores: cidades inteligentes, resilientes e sustentáveis

Referências Bibliográficas

1. IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8. Acesso em: 10 mar. 2025.

2. SIQUEIRA, B.; BRITTO, V. **Censo 2022: 87% da população brasileira vive em áreas urbanas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8. Acesso em: 10 mar. 2025

3. UNITED NATIONS. **World Population Prospects 2024**: Summary of Results. New York: United Nations, 2024. (UN DESA/POP/2024/TR/NO. 9).

4. NAÇÕES UNIDAS. **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. 2019. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701. Acesso em: 11 fev. 2025.

5. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Carta Brasileira Cidades Inteligentes**. Disponível em: https://cartacidadesinteligentes.org.br/files/carta_brasileira_cidades_inteligentes.pdf. Acesso em: 03 mar. 2025.

6. ABNT. **NBR ISO 37122:2020**. Versão corrigida 2021. Cidades e comunidades sustentáveis.Indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 01 mar. 2025.

7. ABNT. **NBR ISO 37123:2021**: Cidades e comunidades sustentáveis.Indicadores para cidades resilientes. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 04 mar. 2025.

8. ABNT. **NBR ISO 37101:2017**. Versão corrigida 2021. Errata 1:2024: Desenvolvimento sustentável de comunidades - Sistema de gestão para desenvolvimento sustentável - Requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

9. UNITED NATIONS. **Our Common Future**. Report of the World Commission on Environment and Development, From One Earth to One World. New York: United Nations, 1987. Disponível em: http://www.un-documents.net/ocf-ov.htm. Acesso em: 05 mar. 2025.

10. NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Como as Nações Unidas apoiam os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 05 mar. 2025.

11. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Protocolo de Kyoto**. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html. Acesso em: 05 mar. 2025.

12. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. Disponível em: https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html. Acesso em: 05 mar. 2025.

13. HARRISON, C.; ECKMAN, B.; HAMILTON, R;, HARTSWICK, P.; KALAGNANAM, J.; PARASZCZAK, J.; WILLIAMS, P. Foundations for smarter cities. **IBM Journal of Research and Development**, v. 54, n. 4, p. 1-16, July/Aug. 2010. https://doi.org/10.1147/JRD.2010.20

2 Tratamento e Abastecimento de Águas

O acesso à água potável e ao saneamento é um direito fundamental assegurado pela legislação brasileira. Contudo, diversos municípios do Estado de São Paulo enfrentam desafios recorrentes como escassez hídrica, perdas elevadas na rede de distribuição, contaminação da água e esgotamento sanitário inadequado.

2.1 Sistemas de Tratamento e Abastecimento

A Composição dos Sistemas de Tratamento e Abastecimento de Água no Estado de São Paulo, assim como nos outros estados brasileiros, pode ser descrita como no Quadro 2.1

Quadro 2.1 – Tratamento e abastecimento de água

Captação de água	■ Fontes de captação incluem rios, lagos, represas e aquíferos subterrâneos. ■ A captação deve seguir critérios ambientais e de qualidade da água.
Transporte e condução	■ Redes de adução de água bruta que levam a água captada até as estações de tratamento. ■ Utilização de tubulações, bombas e reservatórios intermediários.
Estações de tratamento de água (ETAS)	■ Processos físicos, químicos e biológicos para remover impurezas, microrganismos, sólidos em suspensão, metais pesados, entre outros contaminantes. ■ Etapas do tratamento convencional incluem coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção com cloro (com ou sem outro agente) e fluoretação da água.
Distribuição	■ Equipamentos (válvulas de manobras, pressurizadores, válvulas redutoras de pressão, poços de visita etc.) e redes de adução de água tratada que conduzem a água até os reservatórios. ■ Reservatórios elevados ou subterrâneos garantem a pressão e o armazenamento. ■ Rede de distribuição que leva a água tratada até os pontos finais (residências, indústrias, comércio).
Controle e monitoramento	■ Rede de macro e micromedidores (hidrômetros) permite a quantificação dos volumes captados e distribuídos. ■ Laboratórios próprios ou conveniados realizam análises periódicas para assegurar a qualidade da água conforme padrões estabelecidos pela legislação (Portaria GM/MS nº 888/2021 do Ministério da Saúde).

Fonte: autores, 2025

No sistema representado no Quadro 2.1, a responsabilidades dos Municípios pode ser resumida como a seguir.

Titularidade dos serviços de saneamento

Os Municípios são os titulares dos serviços de saneamento básico. Titularidade conjunta, no caso de interesse comum, pode ser exercida pelo Estado e Municípios que compartilham instalações operacionais integrantes de regiões metropolitanas, aglomerações urbanas e microrregiões. O exercício da titularidade poderá ser realizado também por gestão associada, mediante consórcio público ou convênio de cooperação.

Gestão do Sistema Local

Os Municípios são responsáveis pela operação, manutenção e expansão das redes de distribuição e das estações de tratamento existentes em sua área.

Regulamentação Local

Cabe aos Municípios estabelecer leis complementares às legislações federais e estaduais para garantir a qualidade da água e o bom funcionamento do sistema.

Fiscalização

É responsabilidade dos Municípios monitorar a qualidade da água distribuída aos usuários finais através de análises regulares.

Cobrança pelo Serviço

Implementar tarifas que cubram custos operacionais, investimentos e melhorias no sistema.

Educação e Comunicação

Promover campanhas educativas sobre o uso eficiente da água e conscientização sobre a importância do saneamento básico.

Parcerias com Concessionárias ou Empresas Estatais

Em muitos casos, os municípios delegam a gestão do abastecimento a empresas concessionárias ou companhias estaduais.

Os serviços de saneamento são regulados nas diversas esferas administrativas. A união regula de forma mais ampla os serviços de saneamento por meio da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), regulação adicional é feita pelo Estado de São Paulo por meio da Agência Reguladora dos Serviços Públicos do Estado de São Paulo (ARSESP), enquanto os municípios atuam na gestão direta ou indireta dos serviços locais.

A universalização do acesso à água potável é uma meta importante prevista na Lei nº 11.445/2007 (Lei Nacional do Saneamento Básico).

2.2 Políticas Federais

A Lei Federal 9.433/1997[1] institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentando o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal que atribui esta competência à União. Os fundamentos desta política, conforme o Artigo 1° da supracitada Lei, são os seguintes:

- A água é um bem de domínio público;
- A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Em seu artigo 2°, a Lei 9433/1997[1] define os objetivos da política como:

- Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- Utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;
- Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Alinhadas a este sistema, as diretrizes gerais de ação para implementação da política nacional de recursos hídricos, conforme descrito no Artigo 3° da Lei de Recursos Hídricos, podem ser descritas como a seguir:

- A gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;
- A adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País;
- A integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
- A articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;
- A articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo;
- A integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras.

Portanto, a ação do Poder Público, nas suas várias esferas, na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos pode ser resumida como descrito no Quadro 2.2.

Quadro 2.2 – Responsabilidades e ações do Poder Público

PODER PÚBLICO	AÇÃO
Poder Público Federal	Tomar as providências necessárias à implementação e ao funcionamento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; Outorgar os direitos de uso de recursos hídricos, regulamentar e fiscalizar os usos na sua esfera de competência; Implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, em âmbito nacional; Promover a integração da gestão de recursos hídricos som a gestão ambiental.
Poderes Executivos Estaduais	Outorgar os direitos de uso de recursos hídricos e regulamentar e fiscalizar os seus usos; Realizar o controle técnico das obras de oferta hídrica; Implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, em âmbito estadual e do Distrito Federal; Promover a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental.
Poderes Executivos Municipais	Promover a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente coma as políticas federais e estaduais de recursos hídricos.

Fonte: CETESB, 2022[2].

Quanto aos instrumentos de ações para gerenciamento de recursos hídricos, podem ser citados como a seguir:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- Cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- Enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Vale lembrar que instrumentos importantes complementares são os Planos Municipais de Saneamento, o Plano de Segurança Hídrica, a instituição de tarifas pelos serviços de água e esgotos e outros, tal como preconizado pela lei 14026/2020 (Lei Federal nº 14.026/2020, conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, criando o Comitê Interministerial de Saneamento Básico e alterando outras leis).

O Enquadramento dos Corpos d'Água, segundo os usos preponderantes da água, é um instrumento de planejamento que visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas. O enquadramento é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, responsável pela definição da classe de qualidade da água para seus usos preponderantes. Trata-se do estabelecimento da meta ou do objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo d'água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo.

A classificação dos corpos d'água, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes será definida pelos usos preponderantes mais restritivos da água, atuais ou pretendidos. Nas bacias hidrográficas em que a condição de qualidade dos corpos d'água esteja em desacordo com os usos preponderantes pretendidos, deverão ser estabelecidas metas obrigatórias, intermediárias e finais, de melhoria da qualidade da água para efetivação dos respectivos enquadramentos, excetuados nos parâmetros que excedam aos limites devido às condições naturais.

O processo de enquadramento pode determinar classes diferenciadas por trecho ou porção de um mesmo corpo d'água, que correspondem a exigências a serem alcançadas ou mantidas, de acordo com as condições e os padrões de qualidade a elas associadas, considerando as especificidades dos corpos d'água. O Quadro 2.3 apresenta classes de enquadramento dos corpos d'água.

Importante salientar que o enquadramento dos corpos d'água dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos. Também, as ações de gestão pertinentes ao uso dos recursos hídricos, tais como a outorga e cobrança pelo uso da água, ou referentes à gestão ambiental, como o licenciamento, termos de ajustamento de conduta e o controle da poluição, deverão basear-se nas metas progressivas intermediárias e finais aprovadas pelo órgão competente para a respectiva bacia hidrográfica ou corpo hídrico específico.

A Resolução Conama 91/2008 define procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos, o qual se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções Conama 357/2005[3] e 396/2008[4], tendo como referências básicas a bacia hidrográfica como unidade de gestão e os usos preponderantes mais restritivos.

Deste modo tem-se:

- Resolução Conama 357, de 17 de março de 2005[3], que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes;
- Resolução CNRH 91/2008[5], que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais e subterrâneos;
- Resolução Conama 396/2008[4], que dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Quadro 2.3 – Classes de enquadramento dos corpos d'água

Uso das águas doces		Especial	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas		Mandatório em UC de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas			Mandatório em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário						
Aquicultura						
Abastecimento para consumo humano		Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário						
Pesca						
Irrigação			Hortaliças consumidas cruas e frutas ingeridas com película	Hortaliças frutíferas, parques, jardins, campos de esporte	Culturas arbóreas, cerealeiras e forrageiras	
Dessedentação de animais						
Navegação						
Harmonia paisagística						

Fonte: CETESB, 2022[2]

2.3 Políticas Estaduais

A Lei 7.663/1991[6] estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, com o objetivo de assegurar que a água, recurso natural essencial à vida, ao desenvolvimento econômico e ao bem-estar social, possa ser controlada e utilizada, em padrões de qualidade satisfatórios, por seus usuários atuais e pelas gerações futuras, em o todo território do Estado de São Paulo. São princípios desta política:

- Gerenciamento descentralizado, participativo e integrado;
- Adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento;
- Recurso hídrico como um bem público, de valor econômico, cuja utilização deve ser cobrada;
- Rateio do custo das obras de aproveitamento múltiplo de interesse comum ou coletivo;
- Compensação aos municípios afetados por áreas inundadas.

Segundo esta política estadual, a forma de uso deve ser estabelecida nos Planos de Bacias Hidrográficas, de acordo com as especificidades de cada Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI, mantendo-se as prioridades de uso previstas nos incisos I e II. Enquanto não estabelecida nos Planos de Bacias Hidrográficas, fica definida a seguinte prioridade de uso dos recursos hídricos no estado:

I – Consumo humano e dessedentação de animais;

II – Abastecimento de água à população;

III – Abastecimento de água para estabelecimentos industriais, comerciais e públicos em geral, situados em áreas urbanas, que se utilizam diretamente da rede pública;

IV – Atividades agrícolas em pequenas propriedades para produção de alimentos básicos, olericultura, fruticultura e produção de mudas em geral;

V – Abastecimento industrial, para fins sanitários e para a indústria de alimentos;

VI – Aquicultura;

VII – Sistemas de irrigação coletiva;

VIII – Abastecimento industrial em geral, inclusive para a agroindústria;

IX – Irrigação de culturas agrícolas em geral, com prioridade para produtos de maior valor alimentar e tecnologias avançadas de irrigação;

X – Geração de energia elétrica, inclusive para o suprimento de termoelétricas;

XI – Navegação fluvial e transporte aquático;

XII – Usos recreativos e esportivos;

XIII – Desmonte hidráulico e na indústria da mineração;

XIV – Diluição, assimilação e transporte de efluentes urbanos, industriais e agrícolas tratados e que atendam às condições, aos padrões e às exigências estabelecidas nas normas ambientais.

Em situações de escassez hídrica, os titulares ou delegatórios dos serviços de abastecimento de água, conforme legislação pertinente, devem estabelecer, em seus planos de contingência, alocações específicas de água para atender às necessidades do suprimento doméstico, das instalações de saúde, de segurança pública e combate a incêndio e sistemas de segurança operacional.

O conjunto de instrumentos previstos nas Políticas Estadual (Lei 7.663/1991[7]) e Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/1997[1]) é ligeiramente diferente, sendo que essa última prevê um rol de instrumentos mais estruturado, razão pela qual o Estado passou a adotar o previsto na lei federal. A seguir é apresentado o conjunto dos instrumentos de gestão no Estado de São Paulo:

- Planos de Recursos Hídricos;
- Outorga de direito de uso dos recursos hídricos;
- Cobrança pelo uso dos recursos hídricos;
- Enquadramento de corpos d'água; e
- Sistemas de Informações.

No que diz respeito estritamente aos atos legais estaduais relacionados com a área de saneamento, pode-se citar os que seguem.

Lei Estadual nº 7.750/92[8]

Define a Política Estadual de Saneamento, estabelecendo princípios como o ambiente salubre como direito de todos e a prioridade à prevenção de doenças.

Lei Estadual nº 17.383/2021[9]

Dispõe sobre a criação de unidades regionais de saneamento básico, com fundamento na Lei Federal nº 11.445/2007, visando a regionalização dos serviços.

Lei Estadual nº 17.853/2023[10]

Define a criação do Fundo de Apoio à Universalização do Saneamento no Estado de São Paulo (FAUSP), com o objetivo de prover recursos para ações de saneamento básico e modicidade tarifária, como resultado da desestatização da Sabesp.

Lei Estadual nº 18.107/2024[11]

Autoriza o Poder Executivo a celebrar contratos ou convênios para a prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Município de São Paulo

2.4 Desafios para a Gestão Municipal

Os principais desafios enfrentados pelos municípios paulistas na gestão da água se resumem no que seguem.

Escassez de Recursos Financeiros

Muitos municípios possuem orçamentos limitados para investir em infraestrutura, manutenção e modernização dos sistemas. Impacto: dificuldade em ampliar ou melhorar as redes, adquirir tecnologias avançadas e realizar manutenções preventivas.

Perdas e Ligações Clandestinas na Rede de Distribuição

Vazamentos, conexões clandestinas, má conservação das tubulações levam a altos índices de perdas de água. Ligações ilegais de água diretamente da rede, manipulação ou desaceleração do hidrômetro para reduzir a conta, compartilhamento não autorizado de conexão entre imóveis são algumas das fraudes recorrentemente encontradas. Impacto: Redução da eficiência do sistema, aumento do custo operacional e dificuldades em atender à demanda.

Escassez Hídrica

Ocorre quando a quantidade de água prontamente disponível para abastecimento é insuficiente para o atendimento das necessidades da população. As principais causas são:

- Demanda superior à disponibilidade existente de água na bacia hidrográfica
- Gestão ineficiente dos mananciais;
- Vazamentos não identificados;
- Seca prolongada ou racionamento;
- Obras programadas que interrompem temporariamente o fornecimento em bairros e regiões vizinhas;
- Intermitência de fornecimento em áreas mais altas, causando reclamações de falta d'água e entrada de ar nas tubulações.

Os impactos podem ser resumidos como: redução da capacidade de crescimento econômico e desenvolvimento local; impacto negativo na saúde da população; possibilidade de conflitos pelo acesso à água; aumento da desigualdade social. Como consequência tem-se: necessidade de exploração de mananciais distantes; necessidade de aumento da eficiência hídrica; estruturação e implantação de planos de gestão de crises; restrições de atividades econômicas hidrointensivas.

- **Qualidade da Água na Captação**

  Poluição de rios, lagos e aquíferos devido ao crescimento urbano, industrial e agrícola. Impacto: necessidade de tratamentos mais complexos e caros para garantir a potabilidade.

- **Infraestrutura Obsoleta ou Insuficiente**

  Sistemas antigos que demandam substituição ou atualização tecnológica. Impacto: ampliação de risco de falhas operacionais; contaminações ou interrupções no abastecimento, aumento dos índices de perdas.

- **Crescimento Urbano Desordenado**

  Expansão rápida sem planejamento adequado sobre infraestrutura hídrica. Impactos: dificuldade em expandir o sistema de forma eficiente e sustentável; redução da disponibilidade hídrica; aumento da probabilidade de contaminação dos mananciais; crescimento da demanda acima da capacidade natural de oferta de água.

- **Mudanças Climáticas e Eventos Extremos**

  Secas prolongadas, chuvas intensas ou eventos climáticos extremos afetam a disponibilidade e qualidade da água. Impacto: necessidade de estratégias de resiliência; e aumento na eficiência de uso dos recursos.

- **Gestão Integrada e Planejamento Adequado**

  Falta de planos estratégicos integrados que considerem toda a cadeia do saneamento básico. Impacto: decisões fragmentadas que prejudicam a eficiência do sistema.

- **Capacitação Técnica e Gestão Profissional**

  Carência de profissionais qualificados na operação, manutenção e gestão eficiente dos sistemas. Impacto: operações menos eficientes; maior risco de falhas e menor inovação.

- **Conscientização da População**

  Uso ineficiente da água por parte dos usuários finais (desperdício, ligações clandestinas, poluição dos mananciais). Impacto: aumento da demanda além da capacidade do sistema existente; poluição; superexploração de mananciais; degradação ambiental com aumento da pressão direta aos mananciais.

- **Questões Ambientais e Sustentabilidade**

  Gestão sustentável dos recursos hídricos diante do crescimento populacional e industrial. Impacto: Pressão sobre os corpos d'água, necessidade de preservação ambiental e uso eficiente.

Os desafios apresentados exigem uma abordagem integrada, envolvendo investimentos em: tecnologia, capacitação profissional, planejamento estratégico, conscientização social, preservação e recuperação ambiental e políticas públicas eficazes. A superação dessas dificuldades é fundamental para garantir o direito universal à água potável com qualidade, segurança e sustentabilidade no longo prazo.

2.5 Sistemas Inteligentes Aplicados ao Setor

Os Sistemas Inteligentes aplicáveis à gestão de Sistemas de Tratamento e Abastecimento de Água municipais representam uma evolução tecnológica que visa aperfeiçoar operações, melhorar a qualidade do serviço, reduzir custos e garantir maior sustentabilidade.

A implementação desses Sistemas Inteligentes permite aos municípios uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, maior segurança no fornecimento e melhor atendimento às demandas da população. Além disso, contribuem para a sustentabilidade ambiental ao reduzir perdas e otimizar o uso da água.

A seguir, são descritos alguns dos principais sistemas inteligentes utilizados nesse contexto.

Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

- Descrição: Plataforma de supervisão e controle em tempo real que monitora e controla equipamentos, processos e redes de distribuição.
- Aplicações: Controle de bombas, válvulas, níveis de reservatórios, vazões, pressões e qualidade da água.
- Benefícios: Detecção rápida de falhas, automação de operações e tomada de decisão baseada em dados.

Sistemas de Gestão de Dados (Data Management Systems)

- Descrição: Armazenamento, análise e visualização de grandes volumes de dados operacionais.
- Aplicações: Análise preditiva, manutenção preditiva, planejamento de investimentos.
- Benefícios: Melhor compreensão do funcionamento do sistema e antecipação de problemas.

Modelagem Hidráulica e Simulação (Modelos Computacionais)

- Descrição: Uso de softwares para simular o comportamento do sistema hidráulico sob diferentes condições.
- Aplicações: Otimização da rede, planejamento de expansão, gerenciamento de crises.
- Benefícios: Redução de perdas, melhoria na distribuição e eficiência operacional.

Sensores IoT (Internet das Coisas)

- Descrição: Dispositivos conectados que coletam dados em tempo real sobre qualidade da água, pressão, vazão, níveis e condições ambientais.
- Aplicações: Monitoramento contínuo da qualidade da água na captação, tratamento e distribuição.
- Benefícios: Dados precisos para ações corretivas rápidas.

Sistemas de Manutenção Preditiva

- Descrição: Utilizam análise avançada para prever falhas em equipamentos antes que ocorram.
- Aplicações: Bombas, válvulas, filtros e outros componentes críticos.
- Benefícios: Redução do tempo de parada não planejada e custos com manutenção corretiva.

Plataformas Integradas de Gestão (ERP/Sistemas ERP específicos para saneamento)

- Descrição: Sistemas integrados que gerenciam finanças, operações, manutenção, recursos humanos e relacionamento com clientes.
- Aplicações: Planejamento orçamentário, faturamento digitalizado, atendimento ao usuário.
- Benefícios: Eficiência administrativa e transparência.

Sistemas de Inteligência Artificial (IA) e de Aprendizado de máquina (Machine Learning)

- Descrição: Algoritmos que aprendem com os dados históricos para otimizar processos ou detectar anomalias.
- Aplicações: Previsão de demanda hídrica, detecção automática de vazamentos ou contaminações.
- Benefícios: Decisões mais rápidas e precisas.

Sistemas de Gestão Ambiental com Tecnologias Verdes

- Descrição: Monitoramento ambiental automatizado para garantir conformidade com normas ambientais.
- Aplicações: Controle da qualidade do corpo hídrico na captação; gestão sustentável dos recursos hídricos.

Na prática, é possível utilizar soluções inteligentes paras os desafios a seguir citados.

Falta de água

- Instalação de hidrômetros digitais para monitoramento preciso do consumo.
- Utilização de sensores de pressão para detecção de rompimentos e controle de pressão em tempo real.
- Utilização de sistemas de alerta automatizado por SMS/app para avisar a população sobre obras e previsão de retorno da água.
- Implantação de ventosas automáticas para retirada do ar nas tubulações em áreas de topografia elevada.
- Estabelecimento de zonas de pressão reguladas com válvulas controladas remotamente.
- Utilização de estações compactas de tratamento para bairros críticos.
- Implementação de campanhas educativas e tarifas inteligentes para promover o uso consciente.

Vazamentos Visíveis (Perdas de Água)

- Sensores acústicos baseados em IoT para detectar vazamentos pelo som.
- Drones com câmeras térmicas para inspeções em larga escala.
- Equipes de resposta rápida com geolocalização.
- Programa de substituição gradual da rede antiga com materiais duráveis.

Anomalias de Qualidade na Água Potável

- Sensores em tempo real de cloro, pH e turbidez na rede.
- Aplicativos para consulta pública da qualidade da água.
- Filtros comunitários e kits domésticos em escolas e UBS.
- Parcerias com laboratórios locais para fiscalização periódica.

Fraudes e Ligações Clandestinas

- Instalação de hidrômetros com telemetria e lacres inteligentes, que detectam violações.
- Uso de inteligência artificial para análise de consumo anômalo e cruzamento com dados cadastrais.
- Campanhas de regularização com desconto ou parcelamento da taxa de ligação.
- Parcerias com ministérios públicos e órgãos de segurança para coibir fraudes sistemáticas.

2.6 Tendencias em Tratamento e Abastecimento de Água

As tendências estão cada vez mais alinhadas aos princípios da sustentabilidade urbana, buscando garantir a gestão eficiente dos recursos hídricos, reduzir impactos ambientais e promover a inclusão social. A seguir, são apresentadas as principais tendências.

- **Integração de Tecnologias de Monitoramento em Tempo Real**

  Uso crescente de sensores IoT (Internet das Coisas) para monitorar qualidade, vazamentos, pressão e consumo em tempo real. Permite ações rápidas, redução de perdas e otimização do uso da água.

- **Implementação de Soluções Baseadas na Natureza (Nature-Based Solutions)**

  Utilização de áreas verdes, bacias hidrográficas protegidas, soluções biomiméticas de infiltração, retenção, detenção e condicionamento de água para redução dos efeitos da urbanização e impermeabilização das áreas urbanas e sistemas de recarga de aquíferos para preservar fontes de água. Contribuem para a resiliência hídrica, controle de enchentes e melhoria da qualidade ambiental urbana.

- **Reuso e Reciclagem de Água e Fontes Alternativas**

  Incentivo ao reúso de águas e ao uso de água de chuva e de outras fontes alternativas em processos industriais, irrigação urbana e sistemas não potáveis. Reduz a demanda por captação de novas fontes e promove economia circular.

- **Descentralização do Tratamento**

  Implantação de estações compactas e modulares próximas aos pontos de consumo ou captação. Facilita o acesso à água em áreas remotas ou vulneráveis, além de reduzir perdas no transporte.

- **Adoção de Tecnologias Verdes e Sustentáveis**

  Uso de energias renováveis (solar, eólica) nas operações de tratamento. Sistemas fotovoltaicos para reduzir o impacto ambiental das operações.

- **Gestão Integrada dos Recursos Hídricos**

  Planejamento que considera toda a bacia hidrográfica, envolvendo diferentes setores e atores sociais. Promove uso eficiente, conservação e proteção das fontes hídricas.

- **Foco na Eficiência Energética**

  Otimização dos processos de tratamento com tecnologias que consomem menos energia. Contribui para a redução da pegada ecológica do sistema hídrico.

- **Engajamento Comunitário e Educação Ambiental**

  Programas educativos para conscientizar sobre o uso racional da água. Participação social na gestão dos recursos hídricos urbanos.

- **Resiliência às Mudanças Climáticas**

  Desenvolvimento de estratégias adaptativas para lidar com eventos extremos como secas prolongadas ou chuvas intensas. Infraestruturas resilientes que garantam o abastecimento mesmo em condições adversas.

- **Digitalização e Automação dos Sistemas**

  Uso intensivo de plataformas digitais para gestão integrada, análise preditiva e manutenção preditiva. Melhora na eficiência operacional e na tomada de decisão baseada em dados.

- **Sistemas avançados de tratamento de águas**

  Tecnologias de Membrana: Uso de ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa para remover contaminantes emergentes e melhorar a qualidade da água potável;

- **Processos Oxidativos Avançados (POAs)**

  Aplicação de ozônio, peróxido de hidrogênio e radiação UV para degradar poluentes orgânicos complexos.

- **Uso de gêmeos digitais**

  Modelos virtuais responsivos das redes de saneamento permitem simulações para prever comportamentos sob condições específicas e a alteração no funcionamento real das redes com base nos resultados.

Para facilitar a adoção de tecnologias é essencial que o gestor municipal siga um roteiro estruturado. A seguir é apresentada uma sugestão de roteiro.

- **Diagnosticar o sistema atual**

  Identificar as regiões com maior incidência de perdas, falta de água, reclamações de qualidade e cobertura de esgoto.

- **Priorizar um projeto-piloto**

  Escolher uma região crítica para testar tecnologias como sensores de vazamento ou hidrômetros digitais.

- **Buscar parcerias estratégicas**

  Com universidades, empresas de tecnologia, agências reguladoras e organizações sociais.

- **Explorar fontes de financiamento**

  Utilizar recursos do FEHIDRO, Programa Avançar Cidades e parcerias público-privadas.

- **Engajar a comunidade**

  Criar canais de comunicação com a população (aplicativos, ouvidorias digitais, campanhas educativas).

Em resumo, as tendências apontam para uma abordagem mais sustentável, inteligente e integrada do tratamento e abastecimento de água nas cidades. Isso inclui o uso inovador da tecnologia, valorização dos recursos naturais, participação social ativa e estratégias que promovam a resiliência frente às mudanças ambientais globais.

Referências Bibliográficas

1. BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 8 jan. 1997.

2. CETESB (São Paulo), SIMA, CAU/SP. **Instrumentos de planejamento, licenciamento e gestão ambiental no estado de São Paulo**, [recurso eletrônico]: caderno de apoio para profissionais / CETESB, SIMA, CAU/SP; Organizadores Eduardo Trani, Mirtes Maria Luciani. – 1. ed. atual. – São Paulo: CETESB, 2022.

3. CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 18 mar. 2005.

4. CONAMA. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água subterrâneos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 7 abr. 2008.

5. CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008**. Estabelece as condições e os procedimentos para o lançamento de efluentes em corpos de água superficiais. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 7 nov. 2008.

6. ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (ALESP). **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. [Ementa da Lei]. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html. Acesso em: 17/05/2025.

7. SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. [Ementa da Lei]. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*. São Paulo, SP.

8. SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 7.750, de 19 de fevereiro de 1992**. [Ementa da Lei]. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*. São Paulo, SP.

9. SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 17.383, de 8 de julho de 2021**. [Ementa da Lei]. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*. São Paulo, SP.

10. SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 17.853, de 23 de novembro de 2023**. [Ementa da Lei]. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*. São Paulo, SP.

11. SÃO PAULO (Estado). **Lei nº 18.107, de 19 de janeiro de 2024**. [Ementa da Lei]. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*. São Paulo, SP.

3 Drenagem Urbana

Os sistemas de drenagem urbana são conjuntos de infraestruturas e ações destinadas a coletar, conduzir e descarregar as águas pluviais, minimizando os riscos de inundações, erosões e danos ao patrimônio urbano. Sua composição inclui o que segue.

- **Rede de coleta superficial**

  Canais, sarjetas, galerias pluviais e bueiros que captam a água da chuva na superfície das vias públicas.

- **Rede de coleta subterrânea**

  Galerias, tubos e caixas de inspeção que conduzem as águas até os pontos de descarte ou tratamento.

- **Reservatórios e dispositivos de retenção**

  Bacias de detenção, reservatórios subterrâneos ou superficiais que controlam o fluxo de água durante eventos intensos de chuva.

- **Dispositivos de descarte final**

  Rios, córregos, lagoas ou áreas de infiltração onde a água é devolvida ao meio ambiente ou infiltrada no solo.

- **Sistemas complementares**

  Obras de contenção, muros de arrimo e áreas verdes permeáveis que auxiliam na gestão das águas pluviais.

A integração desses componentes visa garantir a eficiência do sistema, reduzir enchentes urbanas e promover a sustentabilidade hídrica[1].

No contexto do saneamento básico no Brasil, incluindo a drenagem urbana, os municípios têm papel fundamental conforme estabelecido pela Lei nº 11.445/2007[2] (Lei do Saneamento). Suas responsabilidades incluem o que segue.

- **Planejamento e gestão**

  Elaborar planos municipais de drenagem urbana integrados às políticas urbanas e ambientais.

- **Execução e manutenção**

  Construir, operar e manter as redes de drenagem superficial e subterrânea.

- **Controle ambiental**

  Assegurar que as obras não causem impactos ambientais negativos, promovendo áreas permeáveis e preservando corpos d'água naturais.

- **Educação ambiental**

  Promover ações educativas para conscientizar a população sobre o uso racional da água da chuva e o descarte adequado do lixo.

- **Coordenação com outros órgãos públicos**

  Atuar em parceria com estados, federação e entidades privadas para garantir a efetividade do sistema.

A responsabilidade municipal é essencial para garantir a segurança hídrica urbana e o desenvolvimento sustentável[3].

3.1 Desafios na Drenagem Urbana

Segundo o Manual de Procedimentos Metodológicos Delimitação de Planícies de Inundação e de Áreas Inundáveis[4], a urbanização das bacias hidrográficas aumenta a magnitude dos impactos, à medida que impermeabiliza o solo e aumenta a capacidade de produção de escoamento superficial, o qual passa a ocorrer de forma mais intensa, mesmo em eventos pluviométricos de baixa magnitude e de maior frequência de ocorrência.

Este incremento de vazão acaba por tornar progressivamente mais dispendiosas as obras de drenagem, que precisam ser cada vez maiores, de modo a não oferecer obstáculo ao escoamento dos cursos d'água, o que ocasionaria o agravamento da situação de cheia urbana.

A impermeabilização de áreas extensas gera, como consequência, a diminuição da absorção de águas pluviais pelo solo, alterando, assim, a disponibilidade de recursos hídricos e o aumento do escoamento superficial, que interfere no abastecimento da cidade e contribui para elevação do nível d'água nas drenagens urbanas.

Ademais, a ocupação urbana ocorre após a remoção da cobertura vegetal, que potencializa o efeito de perda de solo, ocasionando o assoreamento dos cursos d'água, podendo provocar a redução de até 80 % da capacidade original de vazão das drenagens urbanas[5].

Há, entretanto, outro aspecto importante a ser considerado quando se estuda a água em meio urbano, que é o uso do recurso hídrico como fonte primária de abastecimento da população, seja para consumo direto, como também para utilização em atividades agrícolas (irrigação), dessedentação animal e atividades industriais.

Com a urbanização ocorrendo de forma acelerada e, muitas vezes, com falhas no planejamento urbano, tem-se importante conflito no uso da água para consumo e no processo de urbanização das bacias hidrográficas.

De modo geral, à medida que a cidade se urbaniza, ocorrem os seguintes impactos[6]:

- Aumento das vazões de enchente (máximas) devido ao aumento da velocidade, da capacidade de escoamento e da impermeabilização das superfícies naturais;
- Aumento da produção de sedimentos devido à perda de proteção das superfícies e produção de resíduos sólidos;
- Deterioração da qualidade da água, devido a inúmeras fontes de poluição, transporte de material sólido e ligações clandestinas de esgoto sanitário e pluvial nos cursos d'água;
- Redução nas vazões mínimas, de importância para a disponibilidade hídrica, devido à redução na infiltração motivada pela impermeabilização da superfície do terreno.

Os desafios em drenagem urbana enfrentados pelos municípios no estado de São Paulo são diversos e refletem a complexidade de gerenciar águas pluviais em um contexto de crescimento urbano acelerado, mudanças climáticas e limitações de recursos. A seguir é apresentada uma síntese desses desafios.

- **Impermeabilização extensiva do solo**

  Mudança no uso do solo e impermeabilização das superfícies causadas pela urbanização desordenada e ocupação irregular: A expansão urbana sem planejamento adequado resulta na ocupação de áreas de risco, como encostas do solo e margens de rios, dificultando a implementação de sistemas eficientes de drenagem e aumentando o risco de enchentes e deslizamentos[7].

- **Infraestrutura insuficiente ou defasada**

  Muitos municípios possuem redes de drenagem antigas, mal dimensionadas ou incompletas, incapazes de suportar eventos extremos de chuva, levando a inundações urbanas frequentes[8]. Também existe o fenômeno do crescimento urbano periférico que impermeabiliza áreas a montante da bacia e sobrecarrega a rede de drenagem existente.

- **Crises climáticas e eventos extremos**

  O aumento na frequência e intensidade das chuvas devido às mudanças climáticas impõe maior demanda sobre os sistemas existentes, exigindo soluções mais resilientes e adaptativas[9].

- **Falta de integração entre políticas urbanas e ambientais**

  A ausência de planos integrados que considerem drenagem, uso do solo e preservação ambiental compromete a eficiência das ações municipais na gestão hídrica urbana[10] .

- **Escassez de recursos financeiros e tecnológicos**

  A insuficiência de investimentos públicos limita a realização de obras necessárias para ampliar ou modernizar os sistemas de drenagem, além da adoção de tecnologias inovadoras[11].

- **Gestão inadequada do lixo urbano**

  O descarte irregular de resíduos entope bueiros e canais, prejudicando o funcionamento do sistema de drenagem e agravando problemas relacionados às inundações[12] .

3.2 Sistemas Inteligentes Aplicáveis

os Sistemas Inteligentes aplicáveis à gestão de drenagem urbana municipal representam uma inovação importante para melhorar a eficiência, a resiliência e a sustentabilidade das infraestruturas de manejo das águas pluviais. A seguir uma descrição desses sistemas e suas aplicações.

- **Monitoramento em Tempo Real (RTI)**

  Utilização de sensores e dispositivos IoT (Internet das Coisas) para monitorar condições hidrológicas e hidráulicas em tempo real, permitindo respostas rápidas a eventos extremos, como enchentes ou obstruções na rede[13].

- **Sistemas de Informação Geográfica (SIG) Integrados**

  Ferramentas que combinam dados geoespaciais com informações de redes de drenagem, facilitando o planejamento, a análise de riscos e a tomada de decisão baseada em mapas dinâmicos e atualizados[14].

- **Modelagem Hidrológica e Hidráulica Computacional**

  Softwares avançados que simulam o comportamento do sistema de drenagem sob diferentes cenários climáticos e urbanísticos, auxiliando na otimização do dimensionamento e na previsão de eventos extremos[15].

- **Automação e Controle remoto**

  Sistemas automatizados que controlam válvulas, bombas e comportas com base nos dados recebidos dos sensores, otimizando o fluxo de água durante chuvas intensas ou períodos de seca[16].

- **Plataformas Integradas de Gestão**

  Portais digitais que consolidam informações operacionais, dados históricos, alertas e relatórios gerenciais acessíveis aos gestores públicos para suporte à tomada de decisão estratégica[17].

- **Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de máquina (Machine Learning)**

  Aplicação de algoritmos que aprendem com os dados históricos para prever padrões de chuva, identificar áreas críticas e propor ações preventivas ou corretivas automáticas[18].

3.3 Tendencias em Drenagem Urbana

As tendências para o tema "Drenagem Urbana" estão evoluindo rapidamente, impulsionadas por avanços tecnológicos, preocupações ambientais e a necessidade de resiliência frente às mudanças climáticas. A seguir, apresentamos uma síntese dessas tendências.

- **Infraestruturas de Baixo Impacto (IBI) e Soluções Permeáveis**

  A adoção de soluções que promovem a infiltração, retenção e evapotranspiração da água pluvial é uma tendência crescente. Exemplos incluem pavimentos permeáveis, jardins de chuva, bacias de retenção e áreas verdes que reduzem o volume de águas superficiais e recarregam os aquíferos19.

- **Gestão Integrada de Águas Pluviais**

  A integração das ações de drenagem com o planejamento urbano, saneamento e proteção ambiental visa criar sistemas mais resilientes e sustentáveis. Essa abordagem promove a gestão holística do ciclo da água, minimizando impactos ambientais e sociais[20].

- **Uso de Tecnologias Verdes e Naturais**

  Sistemas baseados na natureza, como corredores ecológicos, zonas úmidas construídas e sistemas de vegetação que atuam como filtros naturais, estão sendo cada vez mais utilizados para tratar águas pluviais de forma sustentável[21.]

- **Sistemas de Drenagem Solares e Autossustentáveis**

  Inovações que utilizam energia solar para alimentar bombas ou sistemas automatizados contribuem para a sustentabilidade operacional das redes de drenagem, especialmente em regiões remotas ou com recursos limitados[22].

- **Monitoramento Digital e Gestão Baseada em Dados**

  O uso de sensores IoT, big data e inteligência artificial permite monitorar as condições do sistema em tempo real, facilitando intervenções preventivas e otimizando recursos[22].

- **Resiliência às Mudanças Climáticas**

  Projetos que considerem cenários futuros de aumento na frequência de eventos extremos buscam criar sistemas adaptativos capazes de suportar diferentes condições climáticas sem comprometer sua funcionalidade[22].

Referências Biobliográficas

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Manual técnico**: drenagem urbana sustentável. São Paulo: ABES, 2018.

2. BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 5 jan. 2007.

3. BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Dispõe sobre as diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

4. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de procedimentos metodológicos**: delimitação de planícies de inundação e de áreas inundáveis / coordenação Filipe Antonio Marques Falcetta. 1. ed. -- São Paulo: IPT. -- (IPT Publicação 3048 ; 1).

5. SANTOS, A. R. dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções: áreas de risco no Brasil**. São Paulo: PINI, 2012.

6. TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), 1993.

7. SANTOS, Karla Azevedo; RUFINO, Iana Alexandra Alves; BARROS FILHO, Mauro Normando Macêdo. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 943-952, set./out. 2017.

8. PEREIRA, M.; LIMA; R.. Infraestrutura antiga na drenagem urbana paulista: diagnóstico e perspectivas. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 24, n. 1, p. 89-102, 2020.

9. CARVALHO, R.; PEREIRA, M.; SILVA, T.. Desafios da drenagem urbana frente às mudanças climáticas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 15, n. 3, p. 210-226, 2021.

10. SANTOS A.; ALMEIDA V.. Planejamento urbano integrado para gestão eficiente das águas pluviais em São Paulo. **Revista Brasileira de Urbanismo**, v. 12, n. 2, p. 45-60, 2018.

11. GOMES, R.; ALMEIDA; V.; PEREIRA; L.. Recursos financeiros para infraestrutura hídrica urbana: obstáculos e possibilidades no estado de São Paulo. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 22, n. 2, p. 134-150, 2022.

12. FERREIRA, L.; SOUZA, D.. Gestão do lixo urbano e seus impactos na drenagem: uma análise dos desafios municipais. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 25, n. 4, p. 567-578, 2019.

13. SILVA, Tallys Henrique Bonfim. **Desenvolvimento de um equipamento de baixo custo integrado à IoT para estimar as propriedades hidráulicas do solo através de experimentos de evaporação**. 2024. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Rondonópolis, Rondonópolis, 2024. Disponível em: https://ufr.edu.br/pgeagri/estrutura/dissertacoes/. Acesso em: 05 maio 2025.

14. FERREIRA, L.; PEREIRA; V.. Gestão integrada das águas pluviais urbanas: estratégias para cidades sustentáveis. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 210-226, 2019.

15. OLIVEIRA; T.; SOUZA; D.. Resiliência hídrica urbana frente às mudanças climáticas: perspectivas futuras na drenagem sustentável. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 24, n. 4, p. 567-580, 2021.

16. GOMES, R.; ALMEIDA; V.; PEREIRA; L.. Automação na gestão das águas pluviais urbanas: tecnologias emergentes. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 89-105, 2022.

17. SANTOS A.; ALMEIDA V.. Plataformas digitais na gestão integrada da drenagem urbana: um estudo de caso em São Paulo. **Revista Brasileira de Urbanismo**, v. 13, n. 1, p. 45-60, 2018.

18. CARVALHO, R.; PEREIRA, M.; SILVA, T.. Sistemas inteligentes na gestão hídrica urbana: avanços tecnológicos e aplicações práticas. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 25, n. 2, p. 134-150, 2021.

19. SOUZA; P.; GARCIA; R.. Impactos das ocupações irregulares na capacidade dos sistemas de drenagem urbana

20. FERREIRA, L.; PEREIRA; V.. Uso do SIG integrado na gestão da drenagem urbana: benefícios e desafios. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 210-226, 2019.

21. CARVALHO, R.; PEREIRA, M.; SILVA, T.. Tendências sustentáveis na drenagem urbana: inovação e resiliência frente às mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 25, n. 2, p. 134-150,

22. OLIVEIRA; T.; SOUZA; D.. Modelagem computacional aplicada à drenagem urbana inteligente: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Engenharia Civil**, v. 24, n. 4, p. 567-580, 2021.

4 Coleta e Tratamento de Esgoto

A Lei Federal 11.445/2007[1] estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, e define saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais indicadas a seguir.

- **Abastecimento de água potável**
  Constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição.
- **Esgotamento sanitário**
  Constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente.
- **Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos**
  Conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas.
- **Drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas**
  Conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas.

Com estas diretrizes, aplicam-se os conceitos indicados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Conceitos a serem respeitados

- O saneamento é um serviço de titularidade municipal.
- O poder público pode autorizar, para usuários organizados em cooperativas ou associações, a prestação dos serviços públicos de saneamento básico que se limite a determinado condomínio localidade de pequeno porte, predominantemente ocupada por população de baixa renda.
- A prestação regionalizada de serviços públicos de saneamento básico é caracterizada por:
  - Um único prestador de serviço para vários municípios, contíguos ou não;
  - Uniformidade de fiscalização e regulação dos serviços, inclusive de sua remuneração
  - Compatibilidade de planejamento.
- Consideram-se também prestadores do serviço público de manejo de resíduos sólidos as associações ou cooperativas, formadas por pessoas físicas de baixa renda, reconhecidas pelo Poder Público como catadores de materiais recicláveis, que executam coleta, processamento e comercialização de resíduos sólidos urbanos ou reutilizáveis

Fonte: CETESB, 2022[2].

No entanto, não constitui serviço público a ação de saneamento executada por meio de soluções individuais, desde que o usuário não dependa de terceiros para operar os serviços, bem como as ações e os serviços de saneamento básico de responsabilidade privada, incluindo o manejo de resíduos de responsabilidade do gerador. São exceções:

- A solução que atenda a condomínios ou localidades de pequeno porte;
- A fossa séptica e outras soluções individuais de esgotamento sanitário, quando se atribua ao Poder Público a responsabilidade por sua operação, controle ou disciplina, nos termos de norma específica.

4.1 Planos de Saneamento Básico

O plano de saneamento básico deverá abranger os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos, limpeza urbana e manejo de águas pluviais, podendo o titular, a seu critério, elaborar planos específicos para um ou mais desses serviços.

- A prestação de serviços públicos de saneamento básico observará o plano, que poderá ser específico para cada serviço, o qual abrangerá, no mínimo;
- Diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida, utilizando sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos e apontando as causas das deficiências detectadas;
- Objetivos e metas de curto, médio e longo prazos para a universalização, admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais;
- Programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e as metas, de modo compatível com os respectivos planos plurianuais e com outros planos governamentais correlatos, identificando possíveis fontes de financiamento;
- Ações para emergências e contingências;
- Mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações programadas.

O Quadro 4.2 relaciona os serviços associados ao Saneamento Básico

Os Marcos Nacionais para Planos de Saneamento Básico são os listados a seguir:

- Lei Federal 11.445/2007[1], que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico;
- Decreto Federal 7.217/2010[3], que regulamenta a Lei 11.445/2007;
- Lei Federal 14.026/2020[4], que atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei 9.984, de 17 de julho de 2000.

Quadro 4.2 – Serviços Associados ao Saneamento Básico

SERVIÇOS PÚBLICOS DE SANEAMENTO BÁSICO	
Serviços Públicos de Abastecimento de Água	Distribuição de água mediante ligação predial, incluindo eventuais instrumentos de medição, bem como, quando vinculadas a essa finalidade, as seguintes atividades: reservação de água bruta, captação, adução de água bruta, tratamento de água, adução de água tratada e reservação de água tratada. A princípio, toda edificação permanente urbana deverá estar conectada à rede pública de abastecimento de água disponível. Na ausência de redes públicas de abastecimento de água, serão admitidas soluções individuais.
Serviços Públicos de Esgotamento Sanitário	Serviços constituídos por uma ou mais das seguintes atividades: coleta, inclusive ligação predial, dos esgotos sanitários; transporte dos esgotos sanitários; tratamento dos esgotos sanitários e disposição final dos esgotos sanitários e dos lodos originários da operação de unidades de tratamento coletivas ou individuais, inclusive fossas sépticas. A princípio, toda edificação permanente urbana deverá estar conectada à rede pública de esgotamento sanitários disponível. Na ausência de rede pública de esgotamento sanitário, serão admitidas soluções individuais.

Quadro 4.2 – Serviços Associados ao Saneamento Básico (continuação)

SERVIÇOS PÚBLICOS DE SANEAMENTO BÁSICO	
Serviços Públicos de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos	Atividades de coleta e transbordo, transporte, triagem para fins de reutilização ou reciclagem, tratamento, inclusive por compostagem, e disposição final dos: ■ Resíduos domésticos; ■ Resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços em quantidade e qualidade similares às dos resíduos domésticos, que , por decisão do titular, sejam considerados resíduos sólidos urbanos, desde que tais resíduos não sejam de responsabilidade de seu gerador nos termos da norma legal ou administrativa, de decisão judicial ou de termo de ajustamento de conduta; ■ Resíduos originários dos serviços públicos de limpeza pública urbana, tais como: serviços de varrição, capina, roçada, poda e atividades correlatas em vias e logradouros públicos; asseio de túneis, escadarias, monumentos, abrigos e sanitários públicos; raspagem e remoção de terra, areia e quaisquer materiais depositados pelas águas pluviais em logradouros públicos; desobstrução e limpeza de bueiros, bocas de lobo e correlatos; limpeza de logradouros públicos onde se realizem feiras públicas e outros eventos de acesso aberto ao público.
Serviços Públicos de Manejo de Águas Pluviais	Constituídos por uma ou mais das seguintes atividades: drenagem urbana, transporte de águas pluviais urbanas; detenção ou retenção de águas pluviais urbanas para amortecimento de vazões de cheias; e tratamento e disposição final de águas pluviais urbanas.

Fonte: CETESB, 2022[2].

4.2 QUADRO GERAL PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

Em 07 de dezembro de 2007, o Estado de São Paulo promulgou a Lei Complementar Estadual 1.025/07[5], estabelecendo os instrumentos para a implementação da Política Estadual de Saneamento Básico.

A Política Estadual de Saneamento Básico tem como diretriz assegurar os benefícios de salubridade ambiental para toda a população, assim como indicar a necessidade de planejar, desenvolver e integrar os recursos institucionais, financeiros e tecnológicos para promover a melhoria dos serviços públicos nesse setor.

A Política Estadual de Saneamento, promulgada pela Lei n° 7750/1992[4] considera.

- **Saneamento ou Saneamento Ambiental**

  Como o conjunto de ações, serviços e obras que têm por objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental, por meio: do abastecimento de água potável; coleta e disposição sanitária de resíduos líquidos, sólidos e gasosos; promoção da disciplina sanitária do uso e ocupação do solo; drenagem urbana; controle de vetores de doenças transmissíveis; e demais serviços e obras especializados.

- **Salubridade Ambiental**

  Como a qualidade ambiental capaz de prevenir a ocorrência de doenças, veiculadas pelo meio ambiente, e de promover o aperfeiçoamento das condições mesológicas favoráveis à saúde das populações urbana e rural.

- **Saneamento Básico**

  Como as ações, serviços e obras considerados prioritários em programas de saúde pública, notadamente o abastecimento público de água e a coleta e o tratamento de esgotos.

A supracitada lei, em seu artigo 4°, estabelece como princípios orientadores da política:

- O ambiente salubre, indispensável, à segurança sanitária e à melhoria da qualidade de vida, é direito de todos, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de assegurá-lo;
- O primado da prevenção de doenças sobre o seu tratamento;
- As obras e as instalações públicas de infraestrutura sanitária constituem patrimônio de alto valor econômico e social e como tal devem ser consideradas nas ações de planejamento, construção, operação, manutenção e administração, de modo a assegurar a máxima produtividade na sua utilização;

- Para que os benefícios do saneamento possam ser efetivos e alcançar a totalidade da população, é essencial a atuação articulada, integrada e cooperativa dos órgãos públicos municipais; estaduais e federais relacionados com saneamento, recursos hídricos, meio ambiente, saúde pública, habitação, desenvolvimento urbano, planejamento e finanças 4, 5;
- A prestação dos serviços públicos de saneamento será orientada pela busca permanente da máxima produtividade e melhoria da qualidade.

Os objetivos da Política Estadual de Saneamento, enumerados no artigo 5° da Lei 7750/1992[6], são os seguintes:

- Assegurar os benefícios da salubridade ambiental à totalidade da população do Estado de São Paulo;
- Promover a mobilização e a integração dos recursos institucionais, tecnológicos, econômico-financeiros e administrativos disponíveis, visando à consecução dos objetivos;
- Promover o desenvolvimento das capacidades tecnológica, financeira e gerencial dos serviços públicos de Saneamento no Estado de São Paulo;
- Promover a organização, o planejamento e o desenvolvimento do setor de saneamento no Estado de São Paulo.

Os instrumentos para chegar a estes objetivos são os seguintes.

- **Plano Estadual de Saneamento**

  Conjunto de elementos de informação, diagnóstico, definição de objetivos, metas e instrumentos, programas, execução, avaliação e controle que consubstanciam, organizam e integram o planejamento e a execução das ações de Saneamento no Estado de São Paulo.

- **Fundo Estadual de Saneamento (Fesan)**

  Instrumento institucional de caráter financeiro, destinado a reunir e canalizar recursos financeiros para a execução dos programas do Plano Estadual de Saneamento.

Em resumo, o modelo de gestão está assentado sobre os papeis das esferas.

- **Estado ou entidade intermunicipal**

  Gestão das questões intermunicipais, visando racionalizar ações de interesse comum dos municípios 6.

- **Municípios**

  Gerenciamento das instalações e dos serviços de saneamento essencialmente municipais, coordenando as ações pertinentes com os serviços e as obras de expansão urbana horizontal e vertical, pavimentação, disposição de resíduos, drenagem de iguais pluviais, uso e ocupação do solo e demais atividades de natureza tipicamente local.

- **Estado**

  assegurará condições para a correta operação, necessária ampliação e eficiente administração dos serviços de saneamento básico prestados por concessionárias sob seu controle acionário [8].

4.3 Composição do Sistema de Captação e Tratamento

Os sistemas de captação e tratamento de esgoto no estado de São Paulo e demais estados da Federação são compostos pelas etapas de coleta, condução, tratamento e disposição adequada dos efluentes líquidos urbanos e dos resíduos sólidos gerados durante o processo. A estrutura básica inclui o que segue.

- **Rede de coleta**

  Conjunto de tubulações, ramais e interceptores que captam o esgoto doméstico e industrial das áreas urbanas e o conduz até as estações de tratamento.

- **Estações elevatórias**

  Estruturas que permitem ao esgoto superar diferenças de nível do terreno para conduzi-lo até as estações de tratamento.

- **Estações de tratamento de esgoto (ETE)**

  Instalações responsáveis por remover contaminantes do esgoto bruto por processos físicos, químicos e biológicos, permitindo que a qualidade do efluente tratado esteja adequada às exigências para disposição final.

- **Disposição final**

  Efluentes tratados podem ser lançados em corpos d'água, utilizados em processos industriais ou destinados à reutilização, conforme legislação vigente.

- **Tratamento de lodo**

  Tratamento do lodo gerado nas ETEs para reduzir seu volume e permitir a adequação das características de qualidade para possibilitar sua disposição adequada ou uso agrícola.

De acordo com a legislação brasileira, especialmente a Lei nº 11.445/2007[1] (Lei do Saneamento Básico), os municípios têm a responsabilidade principal pela gestão dos serviços públicos de saneamento básico, incluindo:

- Planejar, implementar, operar e manter os sistemas de captação e tratamento de esgoto;
- Garantir o acesso universal ao saneamento básico;
- Elaborar planos municipais de saneamento;
- Fiscalizar a prestação dos serviços por concessionárias ou empresas públicas;
- Promover ações educativas sobre o uso racional da água e descarte adequado do lixo.

No entanto, a União e os Estados também atuam na regulação, financiamento e fiscalização dessas atividades.

4.4 Desafios para a Gestão Municipal

Os desafios enfrentados pelos municípios do estado de São Paulo na captação e tratamento de esgoto são diversos e refletem questões técnicas, econômicas, sociais e ambientais, tais como[7] as indicadas a seguir.

- **Baixa cobertura de coleta de esgotos**

  Apesar dos avanços, muitos municípios ainda não atingiram a cobertura universal de coleta e tratamento de esgoto, especialmente nas áreas rurais e periferias urbanas[8].

- **Necessidade de modernização e atualização tecnológica dos sistemas**

  Os sistemas de tratamento de esgotos necessitam ser adequados para atender as necessidades de tratamento terciário e avançado.

- **Manejo adequado de resíduos e emissões gerados no processo**

  Os processos de tratamento de esgotos produzem resíduos sólidos e gases que devem ser manejados de forma adequada para evitar contaminações.

- **Melhoria da resiliência e adequação aos eventos extremos**

  Os eventos extremos podem causar diversos problemas aos sistemas de saneamento, inclusive aos sistemas de esgotamento que devem ser atualizados e adequados para que considerem os efeitos extremos causados pelo clima.

- **Necessidade de quantificação e consideração da pegada de carbono**

  Deve ser buscado o desenvolvimento de instrumentos de compensação ambiental pelo carbono emitido pelos sistemas de tratamento de esgotos.

- **Capacidade técnica institucional limitada**

  A capacidade técnica e institucional disponível é limitada resultando em dificuldades para o desenvolvimento de planejamento integrado do sistema, para a elaboraração de projetos, condução licitações e fiscalização de contratos e da eficiência do sistema.

- **Infraestrutura insuficiente ou defasada**

  Grande parte da rede de coleta é antiga ou inadequada, resultando em vazamentos, perdas e lançamentos clandestinos de esgoto sem tratamento adequado8.

- **Capacidade limitada das estações de tratamento**

  As Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) muitas vezes operam com capacidade insuficiente para atender ao crescimento populacional e às demandas atuais, levando à sobrecarga dos sistemas[8].

- **Financiamento e investimentos insuficientes**

  A escassez de recursos financeiros limita a expansão, modernização e manutenção das infraestruturas existentes. A dependência de financiamentos públicos ou privados nem sempre é suficiente ou acessível[9].

- **Gestão eficiente e planejamento**

  A ausência de planos municipais integrados de saneamento e gestão eficiente dificulta a priorização de ações estratégicas e o uso racional dos recursos disponíveis[10].

- **Questões ambientais e regulatórias**

  O lançamento de esgoto não tratado impacta corpos d'água, causando problemas ambientais graves. Além disso, há dificuldades na fiscalização efetiva devido à dispersão administrativa[11].

- **Desafios sociais e culturais**

  A conscientização da população sobre o descarte adequado do lixo doméstico e o uso racional da água ainda é insuficiente em várias regiões[11].

4.5 Sistemas Inteligentes para Captação e Tratamento

Os Sistemas Inteligentes aplicáveis à gestão de captação e tratamento de esgoto municipal têm como objetivo otimizar operações, melhorar a eficiência, reduzir custos e garantir a sustentabilidade do saneamento básico. A seguir, apresentamos os principais sistemas inteligentes utilizados na área.

- **Sistemas de Monitoramento em Tempo Real (RTMS)**

  Permitem o acompanhamento contínuo de variáveis operacionais, como vazões, níveis, pressões e qualidade do efluente, possibilitando respostas rápidas a anomalias ou falhas no sistema[12].

- **Sistemas de Automação e Controle (SCADA)**

  Utilizam tecnologia de supervisão, aquisição de dados e controle para gerenciar equipamentos e processos automaticamente, otimizando o funcionamento das estações de tratamento e redes de coleta[13].

- **Modelagem Computacional e Simulação**

  Ferramentas que utilizam modelos matemáticos para simular o comportamento do sistema hídrico, permitindo planejamento, análise de cenários e tomada de decisão baseadas em dados14.

- **Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado de máquina (Machine Learning)**

  Aplicadas na previsão de vazões, detecção de vazamentos, otimização do uso de recursos e manutenção preditiva dos equipamentos[15].

- **Sistemas de Gestão Integrada com Big Data**

  Coleta, armazenamento e análise massiva de dados operacionais para identificar padrões, melhorar a eficiência operacional e apoiar estratégias sustentáveis[16].

- **Internet das Coisas (IoT)**

  Dispositivos conectados que coletam dados em tempo real nas redes de coleta e tratamento, facilitando a automação remota e a manutenção preditiva[17].

4.6 Tendências na Captação e Tratamento de Esgoto

As tendências para o tema "Captação e Tratamento de Esgoto" com foco na sustentabilidade urbana e com uso intensivo de recursos de tecnologias digitais estão evoluindo rapidamente, impulsionadas por avanços tecnológicos, preocupações ambientais e a necessidade de garantir o acesso universal ao saneamento de forma sustentável. A seguir algumas dessas tendências.

- **Recuperação de nutrientes**

  O esgoto doméstico é fonte de fósforo e nitrogênio que pode ser recuperado e utilizado em agricultura.

- **Recuperação energética**

  Recuperação de calor e geração de energia térmica e elétrica a partir dos gases gerados na digestão anaeróbia dos esgotos e lodos.

- **Disseminação dos tratamentos avançados**

  A necessidade de melhoria nas condições ambientais vem impulsionando a utilização de sistemas baseados em separação por membranas e processos oxidativos avançados capazes de remover contaminantes existentes em baixas concentrações nos esgotos.

- **Utilização dos esgotos como fonte de monitoramento de saúde da população**

  A análise dos esgotos com objetivo de compreender aspectos referentes à saúde da população foi impulsionada pela pandemia de Covid-19.

- **Reúso**

  A reutilização de águas tratadas para fins não potáveis, como irrigação, limpeza urbana e processos industriais, vem ganhando destaque como estratégia para reduzir a demanda por água potável e aliviar a pressão sobre os recursos hídricos urbanos[18].

- **Sistemas de Tratamento Descentralizado**

  A implantação de sistemas descentralizados ou compactos permite tratar esgoto próximo à fonte geradora, reduzindo custos de infraestrutura e impactos ambientais associados ao transporte do esgoto até estações centrais[19].

- **Tecnologias Verdes e Naturais**

  O uso de wetlands construídos, lagoas de estabilização e outras soluções baseadas na natureza promove tratamento eficiente com menor consumo energético e impacto ambiental reduzido[20].

- **Integração de Sistemas Inteligente**

  A aplicação de sistemas inteligentes, como monitoramento em tempo real, automação e gestão baseada em dados (Big Data), otimiza operações, reduz desperdícios e aumenta a eficiência do tratamento[20].

- **Valorização do Lodo e Resíduo**

  A valorização do lodo gerado nos processos de tratamento por meio da compostagem ou produção de biogás ou fertilizantes orgânicos contribui para a economia circular e redução do impacto ambiental[21].

- **Design Urbano Sustentável**

  Incorporação do saneamento às estratégias de planejamento urbano sustentável, promovendo integração entre infraestrutura hídrica, mobilidade urbana verde e áreas verdes permeáveis[13].

Referências Bibliográficas

1. BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Dispõe sobre diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

2. CETESB (São Paulo). Instrumentos de planejamento, licenciamento e gestão ambiental no estado de São Paulo: caderno de apoio para profissionais. 1. ed. atual. São Paulo: CETESB, SIMA, CAU/SP, 2022.

3. BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 22 jun. 2010. (Edição Extra).

4. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, a Lei nº 11.516, de 28 de agosto de 2007, e a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 16 jul. 2020.

5. SÃO PAULO (Estado). Lei nº 7.750, de 19 de fevereiro de 1992. Dispõe sobre a criação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos - FEHIDRO, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 20 fev. 1992.

6. SÃO PAULO (Estado). Lei Complementar nº 1.025, de 7 de dezembro de 2007. Institui a Política Estadual de Saneamento Básico e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 8 dez. 2007. Seção I, p. 1.

7. NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; HELLER, Léo. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 36-48, 2005.

8. SABESP. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – SABESP. **Relatório Anual 2022**: Gestão do Saneamento Básico no Estado de São Paulo. São Paulo: SABESP, 2022.

9. NASCIMENTO, Luiz Fernando Costa do. Os desafios da universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana - Urbano**, v. 7, n. 2, p. 167-183, jul./dez. 2015.

10. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de Sustentabilidade 2022**. São Paulo: SABESP, 2023. Disponível em: https://www.sabesp.com.br/sustentabilidade/transparencia/relatorios-atas-pesquisas. Acesso em: 17 mai. 2025.

11. SEMA-SP. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de São Paulo. **Diagnóstico Ambiental do Estado de São Paulo – DAE-SP**. São Paulo: SEMA-SP, 2019.

12. LIMA, A. P.; SILVA, J. R.; ALMEIDA, M. T. Monitoramento em tempo real na gestão do saneamento básico: uma revisão sistemática. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 20, n. 2, p. 123-138, 2020.

13. SANTOS, A.; COSTA, R. Valorização do lodo em estações de tratamento de esgoto: uma abordagem sustentável. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 210-218, 2020.

14. FERREIRA, L. M.; COSTA, R. S. Modelagem computacional aplicada ao gerenciamento de estações de tratamento de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 245-253, 2018.

15. OLIVEIRA, C.; GONÇALVES, P.; SANTOS, R. Uso da inteligência artificial na previsão da demanda hídrica em sistemas urbanos de saneamento. **Revista Águas & Energia**, v. 17, n. 1, p. 45-60, 2021.

16. RODRIGUES, A.; PEREIRA, M. Big Data na gestão integrada do saneamento: desafios e oportunidades no Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 14, n. 2, p. 89-105, 2022.

17. MARTINS, F.; SOUZA, D.; PEREIRA, L. Aplicações da Internet das Coisas na gestão do saneamento: uma revisão integrativa. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 25, n. 4, p. 567-578, 2020.

18. BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PNSB/2014-2033**. Brasília: Ministério das Cidades, 2014.

19. SOUZA, Paulo César de; ALMEIDA, Valdemir Ferreira de; GOMES, Rosângela Mara. Sistemas descentralizados de tratamento de esgotos sanitários: aplicabilidade em pequenas comunidades rurais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 71-78, jan./mar. 2013.

20. LIMA, R.; PEREIRA, M. Tecnologias naturais no tratamento de águas residuais urbanas: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 134-142, 2019.

21. OLIVEIRA, T.; SOUZA, D.; ALMEIDA, V. Gestão inteligente na captação e tratamento de esgoto: tendências atuais. **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 21, n. 1, p. 89-105, 2021.

5 Gestão da Arborização Urbana

Arborização urbana é o conjunto de árvores localizadas nas cidades, distribuídas em vias públicas, praças, parques, áreas institucionais e demais espaços livres públicos e privados, desempenhando funções ecológicas, paisagísticas, sociais e urbanísticas. Somando-se às Unidades de Conservação (UCs) e Áreas de Proteção Permanente (APPs) que circundam ou se inserem na cidade formam o conceito de "Floresta Urbana" (Figura 5.1).

Figura 5.1 – Imagem de uma Floresta Urbana

Fonte: Midjourney (gerada por inteligência artificial)[14].

A implantação de um programa municipal abrangente relativo aos cuidados da arborização urbana, incluindo áreas verdes, como as praças e parques, representa uma decisão administrativa não apenas ecologicamente responsável, mas economicamente estratégica e politicamente visionária. Para o município, um programa desse tipo traz ganhos, que podem ser traduzidos em benefícios concretos tanto para a gestão pública como para a qualidade de vida da população (Figura 5.2).

Figura 5.2 – Benefícios de uma boa gestão de arborização

Fonte: Autores, 2025

Aos benefícios indicados na Figura 5.2 pode-se acrescentar a valorização imobiliária e o lazer e turismo.

A arborização urbana não representa apenas uma questão estética ou ambiental, mas um investimento com retorno mensurável para a administração municipal, revertendo em economia orçamentária, valorização urbana e aprovação popular.

O manejo da arborização é o conjunto de ações coordenadas para instalar, manter, expandir e administrar todos os elementos verdes da cidade. Ele pode ser dividido nos seguintes componentes:

- Planejamento;
- Implantação;
- Manutenção;
- Gestão Participativa.

5.1 Planejamento

Ações de planejamento e diretrizes administrativas e financeiras devem nortear os componentes de Ampliação, Manutenção e Gestão Participativa para a consolidação do verde nas cidades.

- **Estrutura Administrativa**

  Definição de secretaria ou departamento que será responsável pela arborização.

  Por princípio, a Secretaria do Meio Ambiente deve ser responsável pelo manejo das árvores, que tem como premissa o planejamento para a sua preservação e conservação. Entretanto, é comum

encontrarmos cidades com a ampliação e manutenção da arborização urbana a cargo da Secretaria de Serviços Urbanos ou Secretaria de Planejamento e Obras, cuja falta de comunicação entre estes órgãos e diferenças de princípios levam a práticas inadequadas e, consequentemente, a uma arborização precária.

Mudanças nas administrações municipais podem levar à descontinuidade de projetos e políticas públicas, comprometendo o planejamento a longo prazo e a implementação consistente das ações.

Legislação Municipal

Criar ou atualizar leis específicas de ampliação e manutenção da arborização urbana.

A gestão da arborização urbana não se limita às áreas públicas; as áreas privadas também desempenham um papel crucial. No entanto, há uma carência de incentivos para que os proprietários ampliem e conservem suas áreas verdes, o que pode comprometer a qualidade e a extensão da vegetação urbana ou "floresta urbana". Portanto, as árvores em local público ou privado devem ser objeto de proteção legal para preservação e conservação.

O estabelecimento de *incentivos fiscais* por meio de programas como "Calçada Verde" para comerciantes e citadinos, adoção de áreas verdes pelas empresas privadas, imóveis que implementam telhados verdes ou jardins e plantio de árvores, com ampliação da área permeável.

O ICMS Ambiental[1], também conhecido como ICMS Verde ou ICMS Ecológico, é uma política pública que repassa recursos financeiros de ICMS para municípios que possuem Unidades de Conservação ou que adotam medidas para proteger o meio ambiente. Esses recursos são destinados a compensar a perda de arrecadação de ICMS que ocorre em áreas protegidas ou a incentivar práticas sustentáveis.

Fontes de financiamento de projetos

Identificar fontes de financiamento de projetos socioambientais é uma estratégia importante para aumentar a capacidade de gestão ambiental do município. Abaixo alguns editais de apoio a projetos socioambientais disponíveis atualmente e que podem ser fontes alternativas de recursos para a implementação de projetos:

- BNDES – FINEM – Meio Ambiente – (https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-meio-ambiente);
- BNDES – Fundo Clima – (https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/fundo-clima);
- CAF – Banco de Desenvolvimento da América Latina e Caribe – (https://www.caf.com/pt/paises/brasil/);~
- Fundação SOS Mata Atlântica – (https://www.sosma.org.br/iniciativas/apoio-aos-parques-e-reservas)
- Fundo Estadual de Defesa dos Interesses Difusos – FID – (https://justica.sp.gov.br/wp-content/uploads/2021/12/EDITAL-FID-2021-EDICAO-FINAL-1.pdf);
- Fundo Nacional do Meio Ambiente – FNMA (https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/secex/dfre/fundo-nacional-do-meio-ambiente)
- Fundo Nacional sobre Mudança Climática (https://in.gov.br/web/dou/-/resolucao-cmn-n-5.095-de-24-de-agosto-de-2023-505436963); e
- Programa Petrobrás Socioambiental (https://www.petrobras.com.br/sustentabilidade/selecoes-publicas).

Plano Diretor de Arborização Urbana (PDAU)

Documento que define diretrizes, objetivos, ações, metas, responsáveis, cronograma, recursos e indicadores de qualidade para gestão da arborização urbana.

Algumas cidades podem separar a gestão das áreas verdes da arborização urbana em um plano específico, como um Plano Municipal de Áreas Verdes. Esta decisão pode ser baseada em dois aspectos:

- Diferenças de legislação nas esferas federal e estadual;
- Práticas de manutenção:
  - as árvores do verde viário e praças demandam mais podas e supressões por causa dos conflitos com o ambiente construído e para garantia da segurança dos citadinos;
  - os parques, APPs e UCs, demandam planos de manejo específicos.

As diretrizes mínimas e necessárias para a elaboração de PDAUs estarão em breve estabelecidas em dois âmbitos:

- No *Programa de Cidades Verdes e Resilientes*[2] do Ministério de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, que está estruturando o Plano Nacional de Arborização Urbana; e
- Na *Política Nacional de Arborização Urbana*, Projeto de Lei 4309/2021[3], em tramitação na câmara dos deputados e Projeto de Lei 3113 de 2023[4], em tramitação no Senado).

O PDAU deve ser elaborado com simplicidade e objetividade, evitando-se planos complexos que não saem do papel. As metas definidas devem ser realistas de curto, médio e longo prazo, sendo compatíveis com os recursos dos municípios ou financiamentos específicos do poder público e empresas privadas. Os indicadores de qualidade para gestão de um PDAU devem ser mensuráveis, como exemplo, número de árvores/habitantes e % de cobertura vegetal.

É importante frisar que o PDAU deve ser construído com a participação das diferentes secretarias do município, concessionárias de energia elétrica e outros serviços, empresas privadas relacionadas a paisagismo e jardinagem, ONGs e outras entidades ambientais e a sociedade. As universidades e institutos de pesquisa são parceiros importantes na construção de um PDAU.

- **Diagnóstico**

  Realizar o censo arbóreo e mapeamento de áreas verdes. É ineficaz e dispendioso o planejamento da arborização sem o conhecimento qualitativo e quantitativo prévio das árvores e das áreas verdes do município.

- **Zoneamento Ecológico-Econômico do estado de São Paulo5 (ZEE-SP)**

  Instrumento para subsidiar e orientar a elaboração, revisão e implementação das políticas públicas, os investimentos públicos e privados, bem como os processos de fiscalização, compensação, recuperação, restauração e licenciamento ambientais.

- **Equipe técnica**

  É essencial a participação de engenheiros agrônomos ou florestais e biólogos, além de uma equipe de jardinagem e de poda e supressão treinada e qualificada, com certificação para trabalho em altura[6] e manuseio de motosserras[7].

  A falta de capacitação técnica dificulta a implementação eficaz das políticas de manejo. Isso inclui desde o planejamento até a execução de ações de arborização e manutenção, afetando a eficiência das iniciativas.

Os desafios apresentados exigem uma abordagem integrada que considere as especificidades de cada região, promova a participação ativa da comunidade e estabeleça políticas públicas consistentes e contínuas. A superação desses obstáculos é fundamental para garantir uma gestão eficaz das árvores nos municípios paulistas.

5.2 Implantação

A implantação de projetos de arborização urbana envolve uma série de diretrizes e ações coordenadas, fundamentais para promover cidades mais verdes e sustentáveis. No entanto, desafios como limitações orçamentárias e falta de capacitação técnica devem ser superados por meio de parcerias e iniciativas inovadoras. O sucesso da ampliação da arborização depende não apenas da escolha das espécies apropriadas, mas também do planejamento do espaço urbano e da integração com a infraestrutura existente.

Documentos técnicos

O *Manual de Arborização Urbana*[8] é o instrumento técnico-normativo que estabelece diretrizes e procedimentos para o planejamento, seleção, plantio e estabelecimento de árvores no ambiente urbano. Minimamente, deve conter:

- Dimensionamento de calçadas e espaços para plantio;
- Distâncias mínimas de equipamentos urbanos (postes, bocas de lobo, esquinas);
- Lista de espécies recomendadas (preferencialmente nativas da região); o Zoneamento Ecológico-Econômico do estado de São Paulo (ZEE-SP) deve ser consultado para a seleção de espécies de árvores ou outras plantas;
- Espécies proibidas ou não recomendadas;
- Características das mudas para plantio (altura mínima, diâmetro do caule, etc.);
- Padrões de qualidade para aquisição de mudas;
- Técnicas adequadas de plantio (dimensões das covas, preparação do solo); e
- Práticas necessárias para manutenção, como irrigação e adubação para sobrevivência das árvores recém-plantadas.

Viveiro municipal

Espaço público destinado à produção de mudas de espécies vegetais (arbóreas, arbustivas, ornamentais, frutíferas e/ou nativas), administrado pelo poder público municipal. Seu principal objetivo é fornecer material para arborização urbana, recuperação de áreas degradadas, projetos de educação ambiental e distribuição à população, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental do município.

O cadastro do viveiro no Registro Nacional de Sementes e Mudas (RENASEM)[9] do Sistema Nacional de Sementes e Mudas (SNSM), gerenciado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), é obrigatório para o exercício das atividades relacionadas à produção, beneficiamento, embalagem, armazenamento, análise, comércio, importação e exportação de sementes e mudas.

Para se garantir os projetos de ampliação da arborização, há desafios que necessitam ser superados na implantação dos viveiros, como: limitação de recurso orçamentário, dificuldades de financiamento, necessidade de recursos humanos com conhecimento técnico específico, disponibilidade para adequação de área e a descontinuidade administrativa. Portanto, alguns arranjos podem viabilizar esta atividade:

- Consórcios intermunicipais: compartilhamento de custos e infraestrutura entre municípios vizinhos;
- Parcerias com universidades: cooperação técnica para pesquisa e extensão;
- Estímulo ao empreendedorismo com a cooperação do terceiro setor (ONGs e associações ambientais);
- A aquisição de mudas de empresas privadas, valorizando o mercado local e o empreendedorismo.

Plantio

A seleção das mudas, preparação do canteiro e solo, irrigação, adubação e tutoramento, garantem um crescimento adequado das árvores.

A máxima **"A árvore certa no local certo"** refere-se à seleção de espécies arbóreas com base na análise do espaço disponível na calçada ou área verde, das interferências dos equipamentos urbanos e das utilidades, como rede elétrica, água e esgoto e gás e a sua altura total e arquitetura de copa, quando adulta. Nos Manuais de Arborização considera-se árvores de pequeno porte até cinco ou seis metros de altura total; de médio porte com sete a dez metros; e grande porte acima de 10 metros.

O principal fator limitante para a definição da espécie e porte para o plantio nas calçadas é sua largura e, consequentemente, tamanho do canteiro de maneira a permitir o adequado crescimento do sistema radicular e, assim, garantir sua saúde, vitalidade e estabilidade estrutural.

Com relação à parte aérea da árvore (tronco e copa), temos as redes de distribuição elétrica aéreas como a principal interferência no seu crescimento e, esse conflito, no agravamento dos problemas de interrupção de energia elétrica à população. Deixar de plantar árvores nas calçadas por causa da existência de rede elétrica ou somente plantar espécies arbustivas é ignorar os serviços ambientais que a arborização urbana promove para a qualidade de vida dos cidadãos.

É importante estabelecer no Manual de Arborização Urbana as espécies permitidas sob a fiação, sendo minimamente possível as árvores de pequeno ou grande porte, quando conduzidas acima da fiação por meio de poda de formação. As concessionárias de energia elétrica também cumprem sua função socioambiental modificando a fiação de média tensão de redes convencionais para compactas, isoladas ou subterrâneas, diminuindo-se os conflitos com a arborização urbana.

Abaixo, algumas estratégias e soluções para a ampliação, conservação e preservação da arborização da cidade, lembrando que a proposição de grandes projetos de plantio, sem a devida capacidade de manutenção ou operacional deve ser evitada:

- Recuperação ou revitalização de praças já existentes antes de criar espaços;
- Vegetação de canteiros centrais;
- Revitalização dos passeios públicos, com faixas permeáveis (calçadas verdes);
- Substituição de gramados extensos por vegetação nativa, com menor exigência de manutenção;
- Recuperação de áreas degradadas, com prioridade para APPs (córregos e encostas);
- Arborização das escolas, com a participação dos alunos;
- Transformação de terrenos abandonados em canteiros biodiversos ou hortas urbanas;
- Planejamento de áreas alagáveis, com espécies de plantas tolerantes;
- Ampliação de áreas verdes como praças, parques e parques lineares;
- Criação de corredores verdes, conectando áreas verdes diversas, UCs e APPs.
- Uso de diferentes tipologias de Soluções Baseadas na Natureza (SbN)[10] , como jardins de chuva, biovaletas ou telhados verdes, de forma integrada nas cidades, promovendo múltiplos serviços ambientais.

Assembleia das Nações Unidas para o Meio Ambiente[11] adotou, em março de 2022, a seguinte definição

Soluções baseadas na Natureza (SbN) são ações para proteger, conservar, restaurar, utilizar de forma sustentável e gerir ecossistemas terrestres, de água doce, costeiros e marinhos, naturais ou modificados, que abordam os desafios sociais, econômicos e ambientais de forma eficaz e adaptativa, ao mesmo tempo em que proporcionam bem-estar humano e serviços ecossistêmicos, resiliência e benefícios para a biodiversidade.

5.3 Manutenção

A manutenção é a garantia da adequada permanência das árvores nas cidades, portanto, não pode ser negligenciada. As diretrizes técnicas constituem a base para a implantação e manutenção em conformidade com as normas brasileiras. Recomenda-se que todos os projetos sejam desenvolvidos por equipe técnica qualificada, incluindo engenheiros ambientais, agrônomos, arquitetos e biólogos, garantindo a eficácia das intervenções e a conformidade legal.

Monitoramento

O monitoramento da arborização urbana não precisa ser complexo para começar. O importante é iniciar o processo de forma sistemática, mesmo que com recursos limitados, e ir aprimorando gradualmente. As tecnologias devem ser vistas como aliadas, mas o conhecimento técnico sobre arborização continua sendo fundamental. Um bom sistema de monitoramento permitirá não apenas reagir a problemas, mas também planejar de forma proativa a arborização do município, garantindo os benefícios para cidades verdes e resilientes.

O monitoramento da arborização é essencial para:

- Garantir a saúde das árvores identificando doenças, pragas e condições de estresse;
- Prevenir riscos avaliando árvores e galhos com potencial de queda;
- Otimizar recursos, priorizando intervençõ es onde são mais necessárias;
- Planejar ações futuras, definindo áreas para novos plantios; e
- Avaliar resultados, mensurando o sucesso das ações implementadas.

Para o monitoramento, é muito importante a implantação de uma Plataforma de Gestão Integrada (software), que reúna todos as informações sobre a arborização urbana, centralizando os dados de cadastro, manutenção e monitoramento, permitindo uma visão completa da arborização, rastreabilidade das ações e a geração de relatórios. A existência de dessa ferramenta torna-se essencial quando os componentes do manejo estão em secretarias distintas, como o Planejamento com a Secretaria do Meio Ambiente e a Manutenção, com a Secretaria de Serviços Urbanos.

A integração dessa plataforma com as plataformas de poda e supressão das concessionárias de energia elétrica e de outros serviços é recomendada para controle de quaisquer intervenções a serem realizadas.

Aplicativos móveis em smartphones ou tablets devem também ser desenvolvidos para as equipes de campo no cadastro e inspeção das árvores e gestão das ações de manutenção. Os benefícios dessa ferramenta podem ser traduzidos em agilidade na coleta, redução de erros, foto documentação e trabalho off-line.

As práticas mínimas de monitoramento da arborização urbana são os a seguir relacionados.

- **Inventário (Censo arbóreo)**

  É o levantamento detalhado de todas as árvores do município ou de áreas específicas, quanto ao seu estado fitossanitário, análise de risco e necessidades de manutenção.

- **Cadastramento georreferenciado**

  Criação de um banco de dados espacial que permita visualizar a distribuição das árvores em mapas, auxiliando no planejamento da manutenção, identificação de áreas com déficit de arborização e na gestão de emergências (como queda de árvores).

- **Monitoramento periódico**

  Inspeções regulares por técnicos capacitados para identificar necessidades de intervenção, avaliar o desenvolvimento das árvores e atualizar o cadastro;

- **Análise de risco de queda**

  A norma brasileira ABNT NBR 16246-3[12] estabelece os níveis de inspeção, atributos relacionados a evidências objetivas de risco e tecnologias disponíveis para a análise não destrutiva de defeitos no tronco ou raízes (radar, tomógrafo e penetrógrafo).

Um *manual de inspeção de árvores de risco*, com protocolo de inspeção de risco de queda devem ser elaborados para uso em campo pelo técnico treinado e qualificado. A capacitação técnica específica de análise de risco deve ser dada aos técnicos responsáveis, com conceitos de biomecânica que normalmente não são ensinados nas faculdades.

- **Podas e supressão**

  A norma brasileira ABNT NBR 16246-1[13] estabelece as técnicas, ferramental necessário e tipos de poda de galhos e raízes. É recomendado que o município elabore um *manual específico de poda, supressão e outras práticas de manutenção* para uso dos técnicos de campo, empresas terceirizadas contratadas para a manutenção e a população.

  Uma das maiores reclamações da comunidade para com a manutenção das árvores é a poda inadequada ou sem critério, portanto, o treinamento e qualificação dos técnicos e auxiliares é essencial; a supervisão tem que necessariamente ser feita por engenheiros agrônomo ou florestal e biólogos, que se responsabilizará pelo trabalho ou crime ambiental cometido.

  Nas cidades, somente as concessionárias de energia elétrica executam as podas nas árvores próximas à rede elétrica, por motivos de necessidade de equipamentos especiais e por segurança, portanto, deve-se criar uma real parceria, como um termo de convênio, entre estes atores para se garantir as boas práticas de manutenção e ao mesmo tempo, a diminuição das interrupções de energia elétrica causadas pela quebra de galhos ou queda de árvores e a preservação da floresta urbana.

Plano Preventivo de Manejo Arbóreo

Com base no inventário, a municipalidade deve elaborar e implementar um Plano de Manejo Arbóreo. Esse plano ou programa torna-se cada vez mais importante se considerarmos os eventos climáticos extremos, devido à crise climática e as quedas de árvores e galhos causando muitos danos nas cidades, inclusive mortes de pessoas.

Um Plano tem que ter o caráter preventivo para minimizar os danos causados e integrado, considerando os atores que atuam na manutenção das árvores, principalmente a concessionária de energia elétrica.

Tecnologias e Tendências

Comumente, as cidades fazem seus inventários arbóreos, por meio de inspeções in loco, que demanda equipes, recursos financeiros e investimentos e muito tempo, dependendo da quantidade de árvores. Portanto, a tendência hoje é usar e desenvolver tecnologias para garantir o monitoramento e gestão da manutenção da arborização urbana.

- **Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**

  Softwares que integram dados espaciais com informações alfanuméricas para a criação de mapas interativos da arborização urbana, permitindo consultas, análises e simulações. Essa ferramenta auxilia na visualização espacial, análises complexas e planejamento de ações do PDAU.

- **Sensoriamento remoto e análise de imagens**

  Técnicas para obter informações sobre as árvores à distância por meio de imagens de satélite, aeronaves, drones ou veículos terrestres para manejo da arborização urbana. Abaixo, alguns tipos de imagem comumente utilizadas:

  - **NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada):** é um índice que mede a diferença entre a reflexão da luz no infravermelho próximo (NIR) e a reflexão da luz vermelha visível pela vegetação. Pode ser usado para identificação de áreas com déficit de cobertura vegetal; seleção de locais prioritários para novos plantios, análise da distribuição espacial da vegetação urbana, identificação de árvores doentes ou em declínio, estudos de ilha de calor e planejamento de modo geral.

- **Imagens Termais:** detecção de ilhas de calor, avaliação do conforto térmico proveniente da arborização urbana. No planejamento de plantio é uma ferramenta útil para posicionamento estratégico de novas árvores para mitigação térmica.
- **Imagens RGB e Multiespectral:** captura de imagens em diferentes bandas do espectro visível da luz. As imagens são semelhantes às obtidas por câmeras fotográficas comuns e podem ser utilizadas para o inventário de espécies arbóreas, avaliação do estado fitossanitário pela coloração das folhas, documentação de pragas e doenças e múltiplas análises da cobertura vegetal.
- **LiDAR (*Light Detection and Ranging*)**: é uma tecnologia que utiliza pulsos laser para medir distâncias com alta precisão, gerando imagens 3D (nuvem de pontos) muito útil para a arborização urbana, sendo já utilizado em cidades de outros países.

  Se embarcado em um veículo terrestre, permite a realização do inventário arbóreo e atualização automática do cadastro, pois individualiza cada árvore para contagem, medição precisa da dendrometria (tronco e copa), detecção de interferências com equipamentos urbanos e redes elétricas aéreas, planejamento de podas preventivas, estimativa de biomassa e estoque de carbono, detecção de locais de plantio entre muitas outras funcionalidades.

- **Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado Contínuo ou de Máquina (Machine learning)**

  A inteligência artificial e o aprendizado de máquina são ramos da ciência da computação que desenvolve sistemas capazes de realizar tarefas que normalmente exigiriam ou superam a inteligência humana, como reconhecimento de padrões, análise de imagens, tomada de decisão e automação de processos e o aprendizado de Máquina são sistemas que aprendem relacionamentos a partir de dados históricos (por exemplo, a identificação botânica das espécies arbóreas ou a detecção de padrões de risco em árvores já caídas ou doentes).

  Cidades como Nova Iorque, Barcelona e Singapura já utilizam estas ferramentas na otimização dos inventários, monitoramento, previsão de acidentes e planejamento do manejo arbóreo, reduzindo erros, ampliando a eficiência operacional e a segurança e a sustentabilidade da arborização urbana. Alguns usos nessas cidades: identificação botânica das espécies; gerenciamento de espaços verdes por sensores que coletam informações sobre a saúde das árvores; medições de umidade do solo para irrigação; acompanhamento do crescimento e necessidades de manutenção, permitindo intervenções preventivas de poda e supressão e planejamento de novos plantios.

  No Brasil já existem empresas e universidades oferecendo sistemas de gestão da arborização urbana com IA para identificação botânica; gestão de podas de árvores para concessionárias de energia elétrica e inventário arbóreo, entretanto, a diversidade de espécies utilizada na arborização das cidades e a falta de dados do crescimento e comportamento destas espécies, como motivos de queda e surgimento de doenças, indicam a necessidade de validação pela municipalidade ou universidades e institutos de pesquisa.

5.4 Gestão Participativa

A gestão da arborização urbana, quando pautada por princípios de justiça ambiental, equidade e participação popular, torna-se um poderoso instrumento de transformação urbana e social. Mais que uma questão técnica, é uma questão de democracia ambiental, garantindo que os benefícios das árvores sejam acessíveis a todos os cidadãos, independentemente de sua condição socioeconômica ou localização na cidade.

Neste contexto, a participação popular não é apenas desejável, mas essencial para garantir que as políticas de arborização respondam às eais necessidades da população e promovam cidades mais justas, resilientes e saudáveis para todos.

Embora existam instrumentos legais que promovem a participação social, como os Conselhos Municipais de Meio Ambiente, a efetiva participação da sociedade civil ainda é limitada. Fatores como falta de tempo, desinteresse ou percepção de que a participação não trará benefícios reais dificultam o engajamento da população nos processos decisórios relacionados às áreas verdes. Como mecanismos para promover a participação das comunidades podem ser sugeridos:

- Conselhos municipais, com a Inclusão da população em órgãos deliberativos sobre arborização e meio ambiente;
- Audiências públicas, como espaços para discussão do PDAU com a comunidade;
- Consultas comunitárias, envolvimento dos moradores na escolha de espécies e locais de plantio, entre outras ações definidas no PDAU;
- Adoção de árvores em programas onde cidadãos ou empresas podem adotar e cuidar de árvores;
- Mutirões comunitários com os moradores para o plantio e monitoramento das árvores;
- Parcerias público-comunitárias para manutenção arbórea;
- Mapeamento colaborativo com uso de tecnologias para que a população identifique locais prioritários para plantio;
- Fundos participativos com recursos destinados a projetos comunitários de arborização;

Com benefícios da participação popular, tem-se:

- Conhecimento local, pois, os moradores conhecem as necessidades específicas de seus bairros e podem contribuir com informações valiosas;
- Apropriação comunitária, pois, comunidades envolvidas no processo tendem a cuidar melhor das árvores plantadas;
- Legitimidade das decisões tomadas pelo poder público, pela aceitação e compreensão da importância da maximização da arborização urbana.
- Educação ambiental, pois o processo participativo educa a população sobre a importância da arborização.

Um programa de **educação ambiental** é essencial para conscientização da população sobre a importância das áreas verdes e da arborização urbana, devendo envolver não só os órgãos ambientais, mas também a Secretaria de Educação para multiplicação do conhecimento nas escolas e a Secretaria de Saúde na contextualização dos benefícios à saúde, como redução de problemas respiratórios e cardíacos. Algumas práticas e ações podem ser inseridas num programa de educação ambiental, como:

- Desenvolvimento de material educativo simples sobre benefícios da arborização urbana;
- Capacitação dos professores da rede municipal para abordar o tema;
- Criação de roteiros de visitação às áreas verdes para escolas e para a população;
- Implantação de programas de voluntariado, como “Adote uma Praça” ou “Guardião da Árvore”;
- Promoção de mutirões de plantio em datas comemorativas;
- Envolvimento da comunidade na escolha das espécies e locais prioritários
- Investimentos em comunicação, como instalação de placas informativas nas áreas revitalizadas e divulgação regular dos avanços do PDAU nas redes sociais da prefeitura;
- Promoção de concurso fotográfico sobre áreas verdes e árvores da cidade.

A administração da arborização urbana se revela como uma ação de grande importância que vai além do embelezamento da cidade e da preservação do meio ambiente, representando um investimento inteligente com resultados concretos para a gestão municipal. Cada recurso investido nessa área retorna de forma ampliada em benefícios financeiros, melhoria da cidade e satisfação da população.

Para o administrador público, a execução de um programa municipal completo de expansão e cuidado da arborização urbana e das áreas verdes representa uma escolha administrativa que é, ao mesmo tempo, ecologicamente correta, economicamente vantajosa e politicamente inovadora. A gestão colaborativa, baseada em princípios de justiça ambiental e equidade se destaca como um meio eficaz de promover a transformação da cidade e da sociedade, assegurando que os benefícios das árvores cheguem a todos os cidadãos.

Assim, ao dar prioridade ao planejamento, à implementação, à manutenção e à gestão participativa da infraestrutura verde, o administrador público não apenas promove a sustentabilidade ambiental, mas constrói um futuro de prosperidade e capacidade de recuperação para as próximas gerações.

Referências Bilbiográficas

1. SÃO PAULO (Estado). Lei nº 17.348, de 12 de março de 2021. Altera a Lei nº 3.201, de 23 de dezembro de 1981, que dispõe sobre a parcela, pertencente aos municípios, do produto da arrecadação do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 13 mar. 2021. Disponível em: https://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1190765290/lei-17348-12-marco-2021-sao-paulo-sp. Acesso em: 30 abr. 2025.

2. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas. **Cidades Verdes Resilientes.** Brasília, DF: MMAMC, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/cidades-verdes-resilientes. Acesso em: 30 abr. 2025.

3. BRASIL. Projeto de Lei nº 4309/2021, de 06 de dezembro 2021. **Institui a Política Nacional de Arborização Urbana, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Arborização Urbana, e dá outras providências.** Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2310535. Acesso em: 30 abr. 2025.

4. BRASIL. Projeto de Lei n° 3113 de 2023. **Institui a Política Nacional de Arborização Urbana, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Arborização Urbana, e dá outras providências**. Disponível em: https://www6g.senado.leg.br/busca/?colecao=Projetos+e+Mat%c3%a9rias+-+Proposi%c3%a7%c3%b5es&q=3113. Acesso em: 30 abr. 2025.

5. SÃO PAULO (Estado). Decreto n° 67.430, de 30 de dezembro de 2022. Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico-Econômico no Estado de São Paulo - ZEE-SP, de que tratam a Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, e o Decreto nº 66.002, de 10 de setembro de 2021, e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 30 dez. 2022. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2022/decreto-67430-30.12.2022.html. Acesso em: 30 abr. 2025.

6. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma regulamentadora nº 35 (NR-35)**. Brasília: MTE, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-35-nr-35. Acesso em: 30 abr. 2025.

7. BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Portaria n° 149-P, de 30 de dezembro de 1992. **Estabelece procedimentos relativos ao registro e licenciamento das atividades ligadas à comercialização e uso de motosserra**. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=95952. Acesso em: 30 abr. 2025.

8. SÃO PAULO (Cidade). **Manual técnico de arborização urbana**. 3. ed. São Paulo: Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, 2015.

9. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Registro Nacional de Sementes e Mudas**. Brasília, DF: MAPA, 2025. Disponível em: https://sistemasweb.agricultura.gov.br/renasem/. Acesso em: 30 abr. 2025.

10. SOLERA, M. L.; MACHADO, A. R.; CAVANI, A. C. M.; SOUZA, C. A.; LONGO, M. H. C.; VELASCO, G. D. N; IKEMATSU, P.; AMARAL, R. D. A. M. **Guia metodológico para implantação de infraestrutura verde.** 1. ed. São Paulo: IPT, 2020. 79 p.

11. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Nature-based solutions for supporting sustainable development.** EA.5/Res.5. Nairobi: UNEP, 2022. 3 p.

12. ABNT. **NBR 16246-3:** Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas - Parte 3: Avaliação de risco de árvores. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

13. ABNT. **NBR 16246-1:** Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas - Parte 1: Poda. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

14. MIDJOURNEY. **Vista aérea de edifícios com telhados verdes e fachadas cobertas por vegetação em uma cidade arborizada ao lado de um rio.** (Imagem gerada por inteligência artificial). Disponível em: https://adapta-one-generated-images--prod.s3.sa-east-1.amazonaws.com/brazolin%40ipt.br%2F3c38f379-7b39-44c5-8a4f-e459d5e5a05f%2F1746064750083.png. Acesso em: 17 maio 2025

6 Gestão de Resíduos Sólidos

A gestão de resíduos sólidos se destaca como uma oportunidade para as cidades promoverem soluções integradas, alinhando planejamento estratégico, inovação tecnológica e participação social. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)[1], aliada aos Planos Nacional e Estadual de Resíduos Sólidos[2,3] (PLANARES e PERS), fornecem diretrizes essenciais para a redução da geração de resíduos, a inclusão socioeconômica de catadores e a destinação final ambientalmente adequada. Este caderno técnico tem como objetivo apoiar os gestores municipais paulistas na transição para sistemas de gestão de resíduos mais inteligentes, resilientes e sustentáveis, por meio da apresentação de exemplos práticos, ferramentas de apoio e tecnologias emergentes.

Nesse cenário, as cidades inteligentes (*smart cities*) têm transformado a forma como os resíduos são gerenciados, ao integrar dados, tecnologia e participação cidadã para promover sustentabilidade e eficiência. A tendência global[4] aponta para a convergência entre inovações digitais, políticas públicas integradas e modelos econômicos circulares, como estratégia para enfrentar o crescimento acelerado na geração de resíduos e mitigar seus impactos socioambientais.

6.1 Gestão de Resíduos Sólidos nos Municípios

Os municípios brasileiros são os principais responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU), mas enfrentam limitações financeiras, técnicas e operacionais que dificultam a atuação direta. Por isso, a terceirização por meio de contratos com empresas privadas é amplamente adotada, embora esses contratos, geralmente curtos, dificultem o planejamento de longo prazo. Alternativas como concessões, PPPs e gestão consorciada têm se mostrado estratégias eficazes para ampliar a escala e viabilizar investimentos. Apesar de o Brasil contar com uma das legislações ambientais mais avançadas do mundo — com a PNRS estabelecendo a hierarquia da gestão de resíduos — ainda há grandes desafios na sua implementação. Em 2022, foram geradas cerca de 81 milhões de toneladas de RSU, com 93% de cobertura de coleta, mas 39% ainda são destinados de forma inadequada. A coleta seletiva está presente em 75% dos municípios, porém a taxa de reciclagem é de apenas 4%. Para reverter esse cenário, o país estabeleceu metas que, se cumpridas, podem resultar em uma redução de até 30 milhões de toneladas de CO_2 equivalente até 2040[2]. O gerenciamento adequado de resíduos gerados nas cidades é um dos serviços de maior visibilidade por seus efeitos imediatos, como a limpeza da cidade e a proteção do meio ambiente, remetendo a uma aceitação da administração municipal por parte da população.

Nesse contexto, o uso de instrumentos de gestão se torna essencial. O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) é obrigatório é um dos temas tratados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos[2], que envolve muitos outros temas e detalhes em relação aos resíduos sólidos, seus tratamentos e disposição. Os

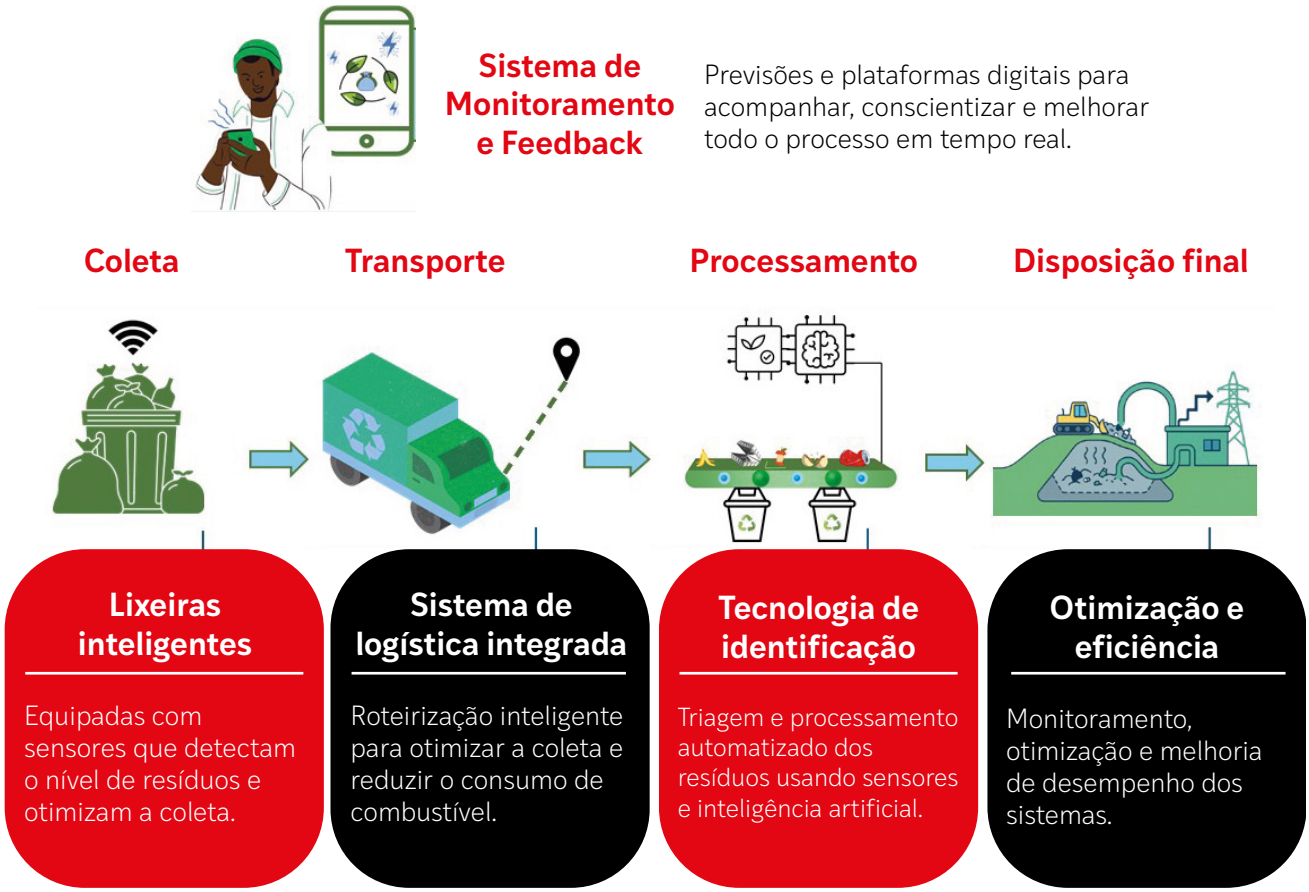
municípios devem ter conhecimento do Plano Nacional de Resíduos Sólidos em todos os seus detalhes. O PMGIRS deve conter diagnóstico, metas e ações voltadas à redução, reuso e reciclagem dos resíduos. No Estado de São Paulo o Sistema Estadual de Gerenciamento Online de Resíduos Sólidos SIGOR – Módulo MTR é uma ferramenta eletrônica que permite o rastreamento dos resíduos desde a origem até a destinação final, contribuindo para o controle e a fiscalização. Complementando esses instrumentos, o Programa Município VerdeAzul estimula os municípios paulistas a adotarem práticas sustentáveis por meio de critérios de avaliação e certificação, como implantação de coleta seletiva e compostagem. Juntos, esses instrumentos oferecem base técnica e legal para fortalecer a gestão municipal de resíduos sólidos.

O modelo de gestão integrada escolhido pelo município deve ter ao longo do tempo um caráter evolutivo, sendo, inicialmente, as ações implantadas de acordo com as necessidades e possibilidades de cada município e depois aperfeiçoadas. Pequenas melhorias consistentemente mantidas conduzem ao sucesso.

6.2 Aspectos e Soluções Inteligentes em Resíduos Sólidos

Tecnologias Digitais no Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos referem-se à aplicação de ferramentas digitais, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), *Big Data*, *Blockchain*, Plataformas de Monitoramento e Sistemas de Informação — em todas as etapas do ciclo de gestão de resíduos (Figura 6.1). Essas tecnologias possibilitam a coleta, análise, integração e disseminação de dados em tempo real, promovendo a otimização dos processos de geração, segregação, coleta, transporte, triagem, tratamento e disposição final dos resíduos urbanos, com foco na eficiência, rastreabilidade e sustentabilidade ambiental.

Figura 6.1: Ilustração da estrutura do sistema de gerenciamento de resíduos e onde são aplicadas as TICs



Fonte: Elaborado pelos autores

A norma ABNT NBR ISO 37122:2020 – Indicadores para Serviços Urbanos e Qualidade de Vida – Cidades Inteligentes[5] fornece um conjunto de indicadores padronizados voltados à medição do desempenho urbano com foco na aplicação de tecnologias digitais. No campo da gestão de resíduos sólidos urbanos, a norma propõe métricas que avaliam o uso de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) para aprimorar a eficiência operacional, promover a sustentabilidade e ampliar a transparência dos serviços prestados.

A adoção desses indicadores permite às administrações públicas identificar avanços na digitalização da gestão de resíduos e alinhar suas práticas às diretrizes internacionais voltadas ao desenvolvimento urbano sustentável. Os indicadores da ABNT NBR ISO 37122 complementam os já estabelecidos pela norma ABNT NBR ISO 37120:2021, que trata de serviços urbanos e qualidade de vida de forma mais ampla, incluindo variáveis quantitativas básicas de coleta e destinação.

Na Tabela 6.1 apresenta-se uma síntese dos principais indicadores de resíduos sólidos previstos nas duas normas.

Tabela 6.1 – Indicadores de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.

Indicador	Descrição	Norma	Tipo
Porcentagem de resíduos sólidos urbanos coletados com monitoramento eletrônico	Mede a proporção da coleta realizada com uso de sensores, RFID, GPS ou outros sistemas digitais de rastreamento.	ABNT NBR ISO 37122	Inteligente
Porcentagem de resíduos desviados de aterros sanitários	Indica a fração dos resíduos encaminhados à reciclagem, compostagem, coprocessamento ou recuperação energética.	ABNT NBR ISO 37122	Inteligente
Número de pontos de descarte inteligente de resíduos	Quantifica os pontos públicos equipados com TICs para controle e monitoramento do descarte.	ABNT NBR ISO 37122	Inteligente
Presença de sistemas de rastreamento para resíduos perigosos e eletrônicos	Verifica a existência de sistemas digitais para rastrear a destinação de resíduos especiais.	ABNT NBR ISO 37122	Inteligente
Taxa de reciclagem com base em dados digitalizados	Percentual de resíduos reciclados com base em dados produzidos por sistemas informatizados.	ABNT NBR ISO 37122	Inteligente
Disponibilidade pública de dados sobre a gestão de resíduos sólidos	Avalia se os dados de gestão de resíduos estão acessíveis ao público por plataformas digitais.	ABNT NBR ISO 37122	Inteligente
Porcentagem de resíduos sólidos urbanos reciclados	Mede a proporção dos resíduos coletados que são efetivamente reciclados.	ABNT NBR ISO 37120	Básico
Quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados per capita	Informa a média anual de geração de resíduos por habitante.	ABNT NBR ISO 37120	Básico
Porcentagem de cobertura da coleta de resíduos sólidos urbanos	Reflete a parcela da população atendida por serviços regulares de coleta.	ABNT NBR ISO 37120	Básico

Fonte: Elaborado pelos autores

A maioria dos processos inteligentes de gestão de resíduos adapta alguns processos da gestão tradicional de resíduos, mas inclui inovação e novas tecnologias na execução de suas ações. A gestão inteligente de resíduos envolve uma abordagem inovadora que abrange o uso de tecnologias da informação e comunicação (TIC) para a tomada de decisões estratégicas com relação à coleta, transporte, processamento e disposição final dos resíduos.

Na gestão inteligente de resíduos se destacam as seguintes tecnologias[6].

- **Espacial**

  Desempenha papel vital na captura, armazenamento, análise e mapeamento de dados espaciais. Envolve:

  - SIG - Sistema de informação geográfica com funções como coleta, armazenamento, análise, integração, manipulação e exibição de dados;

- GPS - Sistema global de navegação e posicionamento para localização, baseado em múltiplas estações terrestres e de satélite bem-organizadas;
- SR - Tecnologia de sensoriamento por satélite para a detecção e classificação de um objeto a partir de uma plataforma remota por meio da propagação de sinais realizada por sensoriamento remoto. Consiste principalmente em sensores, ferramentas de processamento de imagens e ferramentas de comunicação de dados.

- **Aquisição de dados/Tecnologia de sensores**

  Estudo do comportamento de um objeto enquanto reage a um ambiente externo, aplicando IoT (*Internet of Things*, em português Internet das Coisas). IoT é uma tecnologia que conecta dispositivos físicos à internet para que possam coletar, enviar e receber dados de forma automatizada. Esses dispositivos podem incluir sensores, câmeras, medidores, entre outros equipamentos que se comunicam entre si ou com sistemas centrais.

- **Tecnologia de identificação**

  Como RFID (*Radio Frequency Identification*, em português Identificação por Radiofrequência) ou QR code (Quick Response Code, em português Código de Resposta Rápida).

Para inserção de soluções inteligentes na gestão dos resíduos, o município deve antes ter um diagnóstico da situação dos resíduos, o que requer conhecer suas características e a dimensão do problema. Também, é importante os prognósticos para o futuro com metas claras integradas ao PMGIRS, recursos humanos, materiais e financeiros que se dispõe ou que poderão ser obtidos. E por fim o engajamento dos usuários por meio de capacitação das equipes e população via apps e campanhas educativas.

A adoção de tecnologias digitais e estratégias de economia circular é fundamental para que os municípios avancem rumo a sistemas de gestão de resíduos mais inteligentes, sustentáveis e eficientes. O uso de TICs tem transformado a forma como os resíduos são monitorados, coletados e processados nas cidades. Entre os principais recursos e tecnologias identificados destacam-se[4,7.]

- **Internet das Coisas (IoT) e Sensores**

  Lixeiras e contêineres inteligentes, equipados com sensores de preenchimento, enviam alertas em tempo real sobre o nível de resíduos, permitindo a coleta sob demanda, o que reduz custos operacionais e emissões de carbono. No tratamento, sensores monitoram o desempenho operacional das unidades, otimizando sua eficiência.

- **Aplicativos e Plataformas Digitais**

  Ferramentas digitais viabilizam a coleta e análise de dados sobre a geração e destinação de resíduos. Aplicativos móveis engajam a população, com informações sobre dias de coleta seletiva, localização de pontos de entrega voluntária (PEVs), campanhas educativas e canais de denúncia.

- **Sistemas de Rastreamento (RFID/QR Code)**

  Permitem a identificação de sacos ou recipientes, viabilizando o controle de qualidade da separação, rastreamento de resíduos e até a implementação de incentivos, como benefícios fiscais ou programas de pontos.

- **GIS (Sistemas de Informação Geográfica) e *Big Data***

  Tecnologias de georreferenciamento e análise de grandes volumes de dados possibilitam o mapeamento de áreas críticas de geração de resíduos (hotspots), orientando o planejamento de infraestrutura, rotas e políticas públicas baseadas em evidências.

- **Sistema de posicionamento de dados (GPS –*Global Positioning System*)**

  Proporciona o monitoramento preciso da frota de coleta, além de ativos urbanos utilizados na gestão de resíduos. Soluções que integram sensores e dados de GPS para planejamento dinâmico de rotas de coleta. Isso reduz o tempo de operação, desgaste da frota e consumo de combustível (Software de Roteirização Inteligente)

- **Inteligência Artificial (IA) e Aprendizado do máquina (*Machine Learning*)**

  Algoritmos avançados analisam padrões de geração, otimizam a logística de coleta, realizam diagnósticos preditivos de falhas, apoiam o uso de veículos autônomos e permitem a identificação automática de materiais recicláveis por meio de visão computacional. Apoia a coleta autônoma de resíduos; identifica padrões e gera insights para a tomada de decisão baseada em dados.

- ***Blockchain***

  Garante a rastreabilidade dos resíduos desde sua geração até a reciclagem, promovendo transparência e controle sobre a cadeia de resíduos sólidos. Essa tecnologia oferece ainda automação de pagamentos, segurança no armazenamento de dados e suporte à inovação e colaboração em rede.

- **Robótica e Veículos Guiados Automaticamente (AGVs – *Automated Guided Vehicles*)**

  Aplicações robóticas automatizam o manuseio e a triagem de materiais, aumentando a eficiência e segurança. Veículos autônomos realizam transporte interno e externo em operações de logística de resíduos.

- **Impressão 3D**

  Contribui para a economia circular ao permitir a produção sob demanda de peças e estruturas sustentáveis, com menor consumo de matéria-prima.

- **Armazenamento em Nuvem**

  Facilita o compartilhamento e a simulação de dados ao longo da cadeia de suprimentos, aprimorando o monitoramento interno e os processos de tomada de decisão.

- **Modelagem da Informação da Construção (*BIM – Building Information Modeling*)**

  Integra dados sobre materiais e resíduos desde o projeto de obras civis, permitindo planejamento mais eficiente e a redução de desperdícios.

- **Automação**

  Sistemas embarcados para otimização de rotas, soluções com inteligência artificial para detecção de descarte irregular e veículos autônomos que realizam varrição com precisão, ampliando a cobertura, eficiência operacional e reduzindo a necessidade de intervenção humana.

Além da coleta e monitoramento, diversas tecnologias vêm sendo aplicadas ao processamento e à destinação final de resíduos:

- **Triagem Automatizada**

  Equipamentos com separadores ópticos, sensores IoT e visão computacional aumentam a pureza dos materiais recicláveis e a eficiência dos centros de triagem;

- **Processamento Biológico**

  A compostagem e a biodigestão anaeróbia são tecnologias utilizadas para valorizar a fração orgânica dos resíduos, com geração de composto e biogás;

- **Processamento Térmico**

  Técnicas como pirólise, gaseificação e incineração possibilitam o aproveitamento energético dos rejeitos, sendo indicadas para resíduos não recicláveis;

- **Aterros Inteligentes**

  Representam uma evolução na disposição final, realizando no mínimo a captura e o aproveitamento energético do biogás, podendo também envolver sistemas de monitoramento ambiental automatizados e conversão de biometano; e

- **Logística Reversa e Eletroeletrônicos**

Pontos de coleta especializados e parcerias com fabricantes possibilitam a destinação adequada de resíduos eletrônicos e aplicativos orientam a população sobre descarte correto.

Para além da aplicação de tecnologias, cidades inteligentes adotam uma abordagem sistêmica que envolve:

- **Economia Circular**

  Estímulo à reinserção de materiais reciclados na cadeia produtiva, com parcerias entre municípios e setores industriais;

- **Gestão Regionalizada**

  Arranjos de cooperação entre entes federativos otimizam o uso de infraestrutura e ganham escala, promovendo eficiência e redução de custos;

- **Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR)**

  Políticas públicas que responsabilizam os fabricantes pelo ciclo de vida de seus produtos, incentivando embalagens retornáveis, sistemas de depósito e logística reversa;

- **Incentivos Econômicos**

  Incluem taxas ou tarifas proporcionais ao volume gerado, descontos em tributos para quem adere à coleta seletiva ou compostagem, programas de créditos ambientais com recompensas por boas práticas, subsídios para aquisição de composteiras e biodigestores, bonificações em licitações para empresas sustentáveis, linhas de financiamento para cooperativas de catadores e cobrança diferenciada para grandes geradores, estimulando a redução na fonte e a destinação adequada;

- **Educação Ambiental Contínua**

  Campanhas permanentes sensibilizam a população, reduzem a contaminação de recicláveis e fortalecem a cultura da separação correta dos resíduos; e

- **Inclusão Social e Valorização do Setor Informal**

  Consiste em reconhecer e integrar os catadores ao sistema oficial, por meio de apoio à organização em cooperativas, capacitação e remuneração justa. Essa prática fortalece a reciclagem, reduz a informalidade e promove justiça social.

A seguir, serão apresentados exemplos práticos de aplicação de soluções inteligentes no sistema de gerenciamento integrado de resíduos sólidos nas etapas de coleta e transporte, processamento e disposição final.

6.3 Coleta e Transporte de Resíduos Sólidos

O uso de soluções inteligentes na etapa de coleta e transporte de resíduos permite otimizar rotas, reduzir custos e aumentar a eficiência por meio de sensores, geolocalização e monitoramento em tempo real. Alguns exemplos de tecnologias inteligentes aplicadas na coleta e transporte são:

- Lixeiras inteligentes, equipadas com sensores, capazes de detectar o nível de preenchimento, enviar dados em tempo real para o sistema central e evitar transbordamento e acúmulo de resíduos, otimizando a coleta, ou seja, os caminhões só passam onde houver necessidade. Além disso, essas lixeiras podem ser capazes de alertar sobre a necessidade de manutenção, por vandalismo ou mau cheiro, e, também, podem ter compactadores internos, que reduzem o volume dos resíduos;

- Otimização de rotas de coleta, com base nos dados das lixeiras inteligentes pode-se planejar rotas dinâmicas para os caminhões de coleta, considerando quais lixeiras estão cheias, condições de trânsito e horários de menor movimentação urbana. Um software de gestão recebe dados em tempo real e calcula a rota mais eficiente e encaminha por GPS ao motorista. Redução de tempo de coleta, economia de combustível, menor desgaste da frota e menor emissão de gases efeito estufa são os benefícios.

O sistema de coleta com lixeira inteligente pode ser iniciado em área restrita da cidade e depois escalada para áreas urbanas mais amplas. É um sistema promissor. A integração com tecnologias avançadas de sensores, como dispositivos IoT e análises baseadas em IA, pode aprimorar as capacidades do sistema para monitoramento mais preciso de resíduos e manutenção preditiva. Além disso, a incorporação de algoritmos de aprendizado de máquina não supervisionados pode permitir que o sistema se adapte e otimize suas operações dinamicamente com base na evolução dos padrões de resíduos e fatores ambientais[8].

Uma prefeitura que deseja implantar uma coleta seletiva inteligente precisa de uma estrutura bem planejada, que envolva tecnologia, logística, educação ambiental e integração entre setores. A integração da IoT na coleta seletiva transforma totalmente a forma como os resíduos são identificados, separados, rastreados e encaminhados para a reciclagem. Isso beneficia a todos: governos, cooperativas, empresas de limpeza urbana e os próprios cidadãos.

6.4 Processamento de Resíduos Sólidos

O processamento de resíduos pode ser físicos, envolvendo a segregação, na origem ou por triagem do resíduo misto em usinas de separação semimecanizada, com a recuperação dos materiais recicláveis e encaminhamento para a reciclagem; além dos processos de tratamento e beneficiamento dos demais resíduos que não tenham valor comercial e dos rejeitos, como o tratamento térmico e o biológico, com o reaproveitamento ou não dos subprodutos gerados nesses processos. Todos esses processos podem ser aplicados individualmente ou de forma consorciada.

Tratamento Físico

É a segregação dos materiais, podendo ser na origem com encaminhamento para cooperativas e triagem ou com a aplicação de sistemas de separação mecanizada, que pode ser aplicado para os resíduos da coleta seletiva ou os resíduos mistos da coleta regular. Conforme Macedo[9] a separação semimecanizada associa a triagem manual com a mecanizada, e sua aplicação é inevitável caso seja necessário o aumento da recuperação dos resíduos recicláveis secos, visto que, conforme o Ministérios de Meios Ambiente[10], na triagem manual a capacidade é de 200 kg/cooperado/dia, enquanto os equipamentos de triagem possuem capacidades que variam de 80 a 250 m^3/hora[9]. Portanto, a vantagem da aplicação de sistemas semimecanizados é a alta capacidade de processamento e celeridade no processo. Entretanto, estes só são vantajosos em casos de grande quantidade de massa coletada, sendo necessária realização de estudos de viabilidade técnica e econômica específica, devido aos altos custos de implantação de um sistema mecanizado. Para pequenos municípios que visam o aumento da capacidade de processamento de materiais recicláveis da coleta seletiva, o indicado é buscar cooperações intermunicipais, e a criação de cooperativas compartilhadas, de grande porte, com a instalação conjunta de sistemas de separação mecanizada. Vale lembrar que todo sistema de separação semimecanizada deve conter, no fim da linha de separação, uma esteira de triagem manual, realizada por cooperados que fazem o controle de qualidade da separação, retirando os materiais que não tenham valor comercial e que possam ter passado no processo, mantendo assim a inclusão social de catadores, conforme preconiza a PNRS.

Para os casos de usinas de triagem dos resíduos mistos da coleta regular, a vantagem é a possibilidade de reaproveitamento dos orgânicos em processos de tratamento biológico, além de manter o mesmo sistema de coleta. Entretanto, devido à qualidade do material obtido segregado na fonte, tanto do material orgânico quanto dos recicláveis, o mais indicado é aumentar a coleta seletiva destes e encaminhar para usinas de triagem de resíduos mistos apenas aqueles que não foram possíveis de serem segregados na fonte.

Em uma estrutura inteligente, toda a movimentação dos recicláveis (do descarte ao centro de triagem) pode ser acompanhada em tempo real em uma plataforma em nuvem. Para tal muitas tecnologias podem ser utilizadas, como, por exemplo:

- Sensores capazes de detectar o resíduo descartado (metal, plástico, papel, orgânico);
- Sensores capazes de detectar peso;

- Etiquetas de RFID (*Radio Frequency Identification*, em português Identificação por Radiofrequência) ou QR code (Quick Response Code, em português Código de Resposta Rápida) em sacos ou recipientes que permitem rastrear quem descartou, quando e o que foi descartado;
- Lixeiras com leitores de RFID para identificar sacos etiquetados.

Pode-se acrescentar a essa estrutura os aplicativos aos cidadãos para receberem alertas sobre dias e horários da coleta seletiva e até mesmo para monitorarem seu histórico de reciclagem, caso se tenha algum plano de pontos, visando algum tipo de recompensa oferecido pelo município.

Os centros de triagem podem ter equipamentos inteligentes que usam visão computacional e sensores IoT para separar materiais com maior precisão e velocidade, reduzindo contaminações e aumentando a taxa de reaproveitamento de materiais.

Para a instalação desse tipo de sistemas de processamento de resíduos, é primordial a realização de uma caracterização e determinação detalhada da composição física e gravimétrica desses resíduos, com a separação e pesagem dos diferentes tipos de materiais, inclusive por cores, para alguns do recicláveis, e dos diferentes tipos de plástico. Com isso e os dados de massa gerada, obtêm-se a porcentagem de cada material na massa total do resíduo e esses dados são utilizados para o dimensionamento do sistema de tratamento, equipamentos necessários e a capacidade de cada um dos equipamentos do centro de triagem.

Para os recicláveis recuperados nos processos de triagem de resíduos mistos, estes são encaminhados para indústrias recicladoras. Os recicláveis sem valor comercial e os demais rejeitos da separação semimecanizada, devem ser encaminhados ou para tratamento térmico ou para aterro sanitário. Para os resíduos orgânicos, estes podem ser encaminhados para o tratamento biológico, também necessitando de uma triagem manual antes do encaminhamento para o tratamento, para a retirada dos materiais recicláveis que possam ter sobrado na massa final.

Tratamento Biológico

O tratamento biológico dos resíduos orgânicos pode ser na forma aeróbia ou anaeróbia, sendo este último tendo a vantagem do reaproveitamento energético, que pode ser aplicado para abastecimento da própria planta de tratamento assim como do sistema de separação semimecanizada. Para os resíduos orgânicos, caso estes sejam encaminhados para tratamento aeróbio (compostagem), estes são reduzidos em massa de pelo menos 50 % e o composto gerado, pode ser aplicado na forma de biofertilizante. Caso os resíduos orgânicos sejam encaminhados para o tratamento anaeróbio, o material resultante também apresenta redução de massa, entretanto, como este tratamento não atinge altas temperaturas, antes da aplicação na forma de biofertilizante, deve-se avaliar a necessidade de tratamento para a descontaminação biológica do material. Além disto, o tratamento anaeróbio não completa o ciclo necessário para total degradação dos resíduos, sendo encerrado no momento em que este reduz a capacidade de produção em volume considerável de biogás. Portanto, o material descarregado, denominado de digestato, deve passar pelo processo de tratamento anaeróbio para a finalização do tratamento deste. A vantagem do tratamento anaeróbio é a geração de biogás, em sistema controlado, com captação e reaproveitamento na forma de energia elétrica, ou na forma de combustível veicular, após processo de purificação e produção do biometano ou hidrogênio verde. Além disso, pelo tratamento anaeróbio ser um sistema controlado, existe menos chances de apresentar emissões fugitivas de gases de efeito estufa, tanto em comparação com a compostagem, quanto em comparação com os aterros sanitários.

Os sistemas de tratamento anaeróbio, também denominados de biodigestores, podem ser classificados em sistema úmido, seco ou extra-seco, com tecnologias de abastecimento contínuos ou em batelada. Os sistemas úmidos são mais aplicados para efluentes em tecnologias de abastecimento contínuo, com forma de alimentação ascendente ou laminar e sistema de agitação com mistura completa, parcial ou sem mistura. Para RSU são aplicados os sistemas secos e extra-secos, com abastecimento contínuo e em batelada. Nos sistemas secos os resíduos são misturados com uma alta carga de inóculo (líquido ativador do processo de degradação com geração de metano) e o abastecimento é realizado de forma contínua. No caso dos sistemas extra-secos, os de maiores capacidades e mais aplicados são os de sistema de "garagem", nos quais os resíduos são abastecidos em batelada, e permanecem em ambiente anaeróbio

com aspersão de inóculo até que o volume de biogás gerado comece a decair. Nesta etapa, o material é descarregado e substituído por resíduo fresco, iniciando um novo ciclo de tratamento.

Quanto às tecnologias de tratamento aeróbio, também denominado de compostagem, existem os sistemas de leiras revolvidas, de leiras estáticas com aeração forçada, de leiras estáticas com aeração passiva (método UFSC), leiras estáticas com manta semipermeável e o sistema de leiras com arquitetura projetada para aeração (sistema L.A.P.A.)[11]. Nestes processos, os parâmetros de temperatura e pH, devem ser monitorados diariamente em campo, além de outras análises laboratoriais periódicas de: teor de umidade e relação C/N. A temperatura do processo deve ser acompanhada evitando-se o aumento acima de 65 °C, realizando a irrigação com água ou o próprio chorume caso ocorra aumento acima do indicado. O pH pode variar de 4,5 a 9,5, sendo uma faixa bem ampla e valores extremos são automaticamente regulados pelos próprios microrganismos presentes na massa. O teor de umidade deve-se manter em torno de 50 %, sendo necessário o revolvimento em casos de alto teor de umidade e irrigação com água ou o próprio chorume em baixos teores de umidade. De forma geral, o tempo de permanência em tratamento por compostagem é em torno de 90 a 120 dias, passando pelas fases: termófila e mesófila, ou de bioestabilização e humificação, sendo 60 a 90 dias para atingir a bioestabilização e de 90 a 120 dias para atingir a humificação[11].

Para ambos os tratamentos, aeróbio ou anaeróbio, devem ser avaliadas as características físicas, químicas e biológicas antes da aplicação na forma de biofertilizante, conforme previsto na Instrução Normativa nº 07 de 2020. Caso o material pós-tratado resultante do tratamento aeróbio ou anaeróbio não for reaproveitado na forma de biofertilizante, nem em outras formas como composição do solo, estes devem ser encaminhados para tratamento térmico ou aterro sanitário.

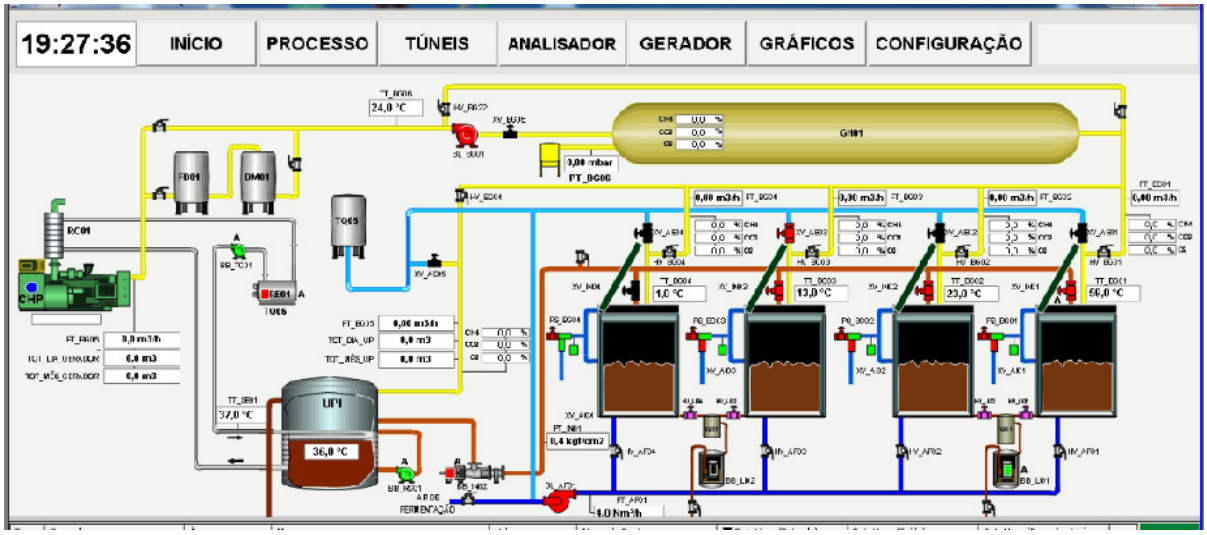
Tratamento Térmico

Os sistemas de tratamento térmico são classificados como de alta temperatura (500 °C) ou baixa temperatura (100 °C). Os de baixa temperatura são aplicados principalmente para assepsia, como no caso de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS). Para os RSU, são aplicados tratamento térmico de combustão, com temperaturas acima de 800 °C, como no caso dos incineradores, ou em torno de 600 °C, promovendo a decomposição térmica, como no caso da pirólise, gaseificação e liquefação[12]. A vantagem dos sistemas de tratamento térmico de resíduos é a redução da massa, que pode chegar à 70 % e de volume, que pode chegar à 90 %, além da possibilidade do reaproveitamento energético, na forma de energia elétrica, água quente e vapor, ou combustíveis alternativos. Atualmente, com as novas tecnologias de limpeza de gases de combustão, os níveis de emissão de poluentes podem ficar abaixo dos observados em processos de combustão convencionais, bem como contribuir para a minimização do efeito estufa devido à combustão de materiais de fontes renováveis (papéis, restos de alimentos e de produtos de origem vegetal) e à redução na emissão de gás metano e contaminação de lençóis freáticos observado em aterros[12]. Os processos de incineração de RSU e RSS em escala comercial podem ser divididos em três grandes grupos:

- Combustão em grelha, os mais aplicados para RSU, com capacidade de tratamento de 1.000 t/dia, cada unidade, sendo utilizadas 2 a 3 operando em paralelo e com temperaturas chegando à 1.200 °C;
- Câmaras múltiplas, unidades de pequeno porte, com capacidade de 200 t/dia e temperaturas chegando à 600 °C; e
- Leito fluidizado: sistema de combustão e gaseificação, com temperaturas atingindo até 900 °C.

Os processos atuais de separação semimecanizada, biodigestores e sistemas de tratamento térmico são, na sua maioria, totalmente automatizados, possuindo motores, cilindros, válvulas, entre outros, que são controlados por um sistema de controle programável, como um PLC ou software. Por meio das programações, os equipamentos podem permanecer operante 24 horas por dia, sendo acompanhados remotamente (**Figura 6.2**). Esses sistemas são projetados para otimizar o tempo, reduzir custos e melhorar a eficiência e a qualidade dos processos de produção ou outras atividades. Além do controle operacional, esses sistemas permitem o acompanhamento de características do processo, em tempo real, como por exemplo: temperatura em cada compartimento de interesse, volume e composição do biogás gerado, no caso de biodigestor.

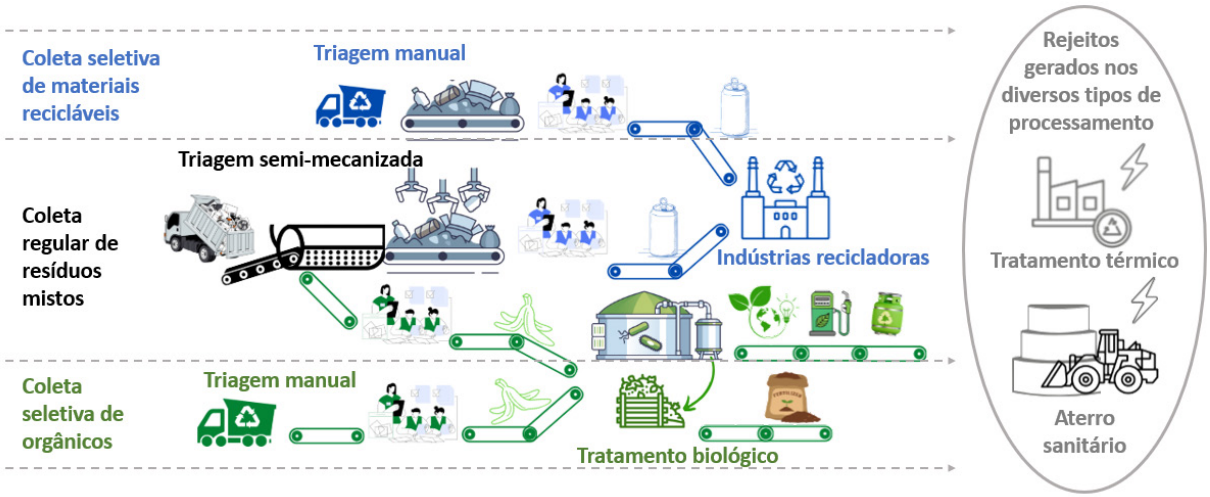
Figura 6.2 – Exemplo de um supervisório de controle operacional de um biodigestor de resíduos



Fonte: Elaborado pelos autores

Conforme demonstrado, os resíduos sólidos urbanos possuem uma característica heterogenia, necessitando de sistemas diversos e diferenciados de processamento/tratamento. O ideal é a aplicação desses sistemas de forma consorciada, sempre que possível, iniciando pela segregação na fonte em 3 frações: recicláveis, orgânicos e rejeitos (resíduos sanitários, contaminados biologicamente). Devido à baixa adesão da segregação na fonte, que deve ser resolvida por meio de educação ambiental, ainda sobra uma grande quantidade de recicláveis na massa de resíduos da coleta regular, assim como de resíduos orgânicos que também podem ser reaproveitados. Visando a recuperação destes materiais, estes devem ser encaminhados para sistemas de triagem semimecanizada, seguindo para as diferentes formas de reaproveitamento conforme suas características físico-químicas, permanecendo o sistema de tratamento térmico para processar os rejeitos segregados na fonte, os rejeitos da separação semimecanizada e os rejeitos do tratamento biológico (**Figura 6.3**). O aterro sanitário também pode ser utilizado para a disposição final desses rejeitos assim como dos rejeitos gerados no sistema de tratamento térmico. Este tipo de aplicação consorciada de processamento de resíduos apresenta-se como uma gestão mais sustentável, que prevê a inclusão social e geração de empregos; assim como a redução de resíduos destinados ao aterro; a preservação dos recursos naturais; o reaproveitamento energético; e a redução de impactos ambientais.

Figura 6.3 – Processamento de resíduos



Fonte: Elaborado pelos autores

O processamento de resíduos prevê o reaproveitamento dos materiais recicláveis e orgânicos com a destinação apenas dos rejeitos para o tratamento térmico e/ou disposição final em aterro sanitário.

6.5 Disposição Final de Resíduos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece que os rejeitos — resíduos que não podem ser reciclados ou tratados por meios técnica e economicamente viáveis — devem ser destinados à disposição final ambientalmente adequada, preferencialmente em aterros sanitários, de forma a evitar riscos à saúde pública e minimizar impactos ambientais.

A implantação de um aterro sanitário envolve etapas bem definidas: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-encerramento. Nos últimos anos, os avanços tecnológicos permitiram a evolução desses sistemas para os chamados aterros inteligentes, que integram soluções inovadoras para otimizar a gestão e mitigar os impactos ambientais.

Os aterros inteligentes utilizam tecnologias como sensores, inteligência artificial (IA), sistemas de monitoramento em tempo real e análise de dados para melhorar a eficiência da operação e reduzir a emissão de gases de efeito estufa, especialmente o metano. Entre os principais recursos adotados estão:

- Monitoramento em tempo real e sensoriamento avançado: Tecnologias IoT permitem o controle contínuo dos poços de captação e do corpo do aterro, monitorando parâmetros como temperatura, emissão de gases (CH_4 e CO_2), lixiviado, umidade, compactação e deformações. Isso possibilita a detecção precoce de falhas e a prevenção de acidentes ambientais, como explosões de gás e rompimento de taludes.
- Automação: controle remoto de equipamentos como compactadores, sistemas de drenagem e *flares* de queima de gases à distância, aumentando a segurança dos operadores e reduzindo custos.
- Ajuste automático de válvulas (*automated well tuning*): otimiza a eficiência da coleta de biogás;
- Reconhecimento visual automatizado: sistemas que identificam objetos e otimizam processos de triagem;
- Sensores de nível de resíduos: instalados em contêineres e caminhões, ajudam a prever enchimentos e reduzir viagens desnecessárias;
- Robôs de triagem com IA: colaboram na separação de recicláveis, reduzindo o volume de rejeitos enviados aos aterros; e
- Otimização da gestão de aterros com IA monitorando compactação, previsão de emissões de gases de efeito estufa e vazamentos, análise preditiva, possibilitando a detecção de anomalias operacionais, previsão da vida útil do aterro e planejamento estratégico para expansão ou encerramento controlado.

Os aterros sanitários inteligentes representam uma evolução significativa da disposição final de resíduos, com benefícios diretos para a eficiência operacional, a sustentabilidade ambiental e econômica, a valorização dos resíduos, e o suporte ao planejamento de políticas públicas baseadas em dados.

Resíduos eletroeletrônicos

A adoção das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) apresenta potencial para otimizar a gestão inteligente de resíduos sólidos; contudo, a questão dos Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) demanda abordagem específica. Destaca-se que a gestão de resíduos eletroeletrônicos não é a uma responsabilidade direta do Município, ficando a cargo dos sistemas de logística reversa, envolvendo os produtores e toda a cadeia de eletroeletrônicos. Novos produtos de tecnologia da informação e comunicação (TIC) e outros produtos eletrônicos estão sendo introduzidos continuamente no mercado atual, enquanto produtos anteriores estão rapidamente se tornando obsoletos. A quantidade de REEE produzido está, portanto, aumentando rapidamente a cada ano. O REEE é descrito principalmente como o resíduo gerado por todas as peças e itens de equipamentos eletrônicos e elétricos (EEE) que foram descartados sem a intenção de serem reutilizados[13]. Abrange uma gama diversificada de dispositivos

eletrônicos, como equipamentos de telecomunicações e tecnologia da informação, grandes utensílios domésticos, equipamentos de iluminação, dispensadores automáticos, dispositivos médicos, dispositivos de monitoramento e controle, bem como eletrônicos de consumo, incluindo ferramentas eletrônicas e elétricas, equipamentos esportivos e de lazer, brinquedos, telefones celulares e computadores.

Nesse contexto, a computação verde surge como estratégia crucial, promovendo práticas sustentáveis como *ecodesign* de produtos, eficiência energética, extensão da vida útil de dispositivos e reciclagem eficiente de materiais críticos (como metais preciosos e terras raras), mitigando assim os impactos ambientais e incentivando a economia circular. Essa abordagem não apenas reduz a pegada ecológica das TICs, mas também transforma desafios tecnológicos em oportunidades para inovação ambientalmente responsável.

A composição química do REEE é muito complexa, geralmente incluindo aço, ferro, plásticos poliméricos, metais não ferrosos, vidro, madeira, compensado, placas de circuito impresso, concreto, cerâmica e borracha, entre outros. Metais valiosos, como níquel, cobre, chumbo, zinco, cobalto, metais preciosos (ouro, prata, paládio, ródio e outros) e elementos de terras raras (samário, európio, ítrio, gadolínio, disprósio) presentes nesse tipo de resíduo, embora presentes em quantidades pequenas, são a principal força motriz econômica para a reciclagem de REEE[14].

Como praticamente não há uma comunicação ou uma plataforma para discutir ideias relevantes entre aqueles que projetam e fabricam os produtos eletrônicos complexos (produtores) e aqueles que os restauram e reciclam quando eles se transformam em resíduo, seu gerenciamento é complexo e enfrenta inúmeros desafios na gestão dos volumes cada vez maiores. Neste contexto é desejável que as cidades inteligentes desenvolvam uma abordagem prática para incentivar tecnologias de "Reengenharia", "Reparos" e "Reformas" nos centros de produção ou no setor manufatureiro, para que a "economia circular" seja implementável e economicamente viável[15].

Apesar de o REEE consistir em uma fonte valiosa de matéria-prima, sua reciclagem é um processo complexo, pois esse tipo de resíduo é constituído de diferentes metais com diferentes propriedades físico-químicas, incluindo metais halogênios perigosos. Se o gerenciamento e o descarte não forem adequados, as substâncias perigosas nele contidas podem causar danos à saúde humana, assim como ao meio ambiente. A gestão de resíduos eletrônicos é um dos maiores desafios globais no século XXI[13].

O sistema de logística reversa de eletroeletrônicos no Brasil foi institucionalizado pela PNRS, e regulamentado pelo Decreto Federal nº 10.240/2020[16], que estabelece obrigações compartilhadas entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores. Em 2019, um Acordo Setorial definiu metas progressivas de recuperação, partindo de 1% do peso dos produtos colocados no mercado em 2021 até 17% em 2025. Entidades gestoras como a Green Eletron e a ABREE (Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos) operam o sistema, instalando pontos de entrega voluntária (PEVs) e garantindo a destinação ambientalmente adequada, priorizando a reciclagem. Em 2022, mais de 3,5 mil toneladas de resíduos eletrônicos foram coletadas nacionalmente[17].

No estado de São Paulo, a logística reversa é reforçada pela Resolução SMA 45/2015 e pela Decisão de Diretoria CETESB 127/2021, que vinculam o licenciamento ambiental ao cumprimento das metas. A CETESB fiscaliza o cumprimento das metas, exigindo relatórios anuais auditados e integrando dados ao Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos Sólidos (SINIR).

Apesar dos avanços, desafios persistem, como a necessidade de ampliar a conscientização dos consumidores e a adesão de pequenos comerciantes. A sinergia entre políticas públicas, setor privado e sociedade civil é essencial para atingir as metas e reduzir o impacto ambiental desses resíduos.

6.6 Exemplos de Municípios com Gestão Inteligente

A implementação de soluções inteligentes na gestão de resíduos sólidos já é uma realidade em diversas cidades globais, servindo como modelo para cidades que buscam eficiência e sustentabilidade. Essas iniciativas ilustram como a integração de tecnologias digitais (IoT, IA, sensores), políticas de logística reversa e engajamento comunitário podem transformar desafios em oportunidades, alinhando-se aos princípios de cidades inteligentes e à meta global de redução de emissões. Tais exemplos reforçam a importância de parcerias entre setores público, privado e sociedade civil.

A seguir, exemplos práticos de aplicação de gestão inteligente de resíduos municipais no Brasil e no Mundo.

Bertioga, SP, Brasil[18]

O IPT, em parceria com a Prefeitura de Bertioga, implantou uma iniciativa de biodigestão anaeróbia para tratar matéria orgânica, reduzindo seu volume em até 70%. O processo gera dois produtos: o composto para uso em áreas verdes da cidade e biogás, que é convertido em energia renovável, que alimenta a própria planta. A planta é otimizada com um sistema de automação que utiliza motores, cilindros, válvulas e controladores programáveis (PLC ou software), permitindo operação contínua, 24 horas por dia, com monitoramento remoto. Além do controle operacional, por meio de sensores, é possível acompanhar em tempo real parâmetros como temperatura dos compartimentos e volume e composição do biogás gerado.

eCycle (Brasil)[19]

Uma iniciativa brasileira de destaque na área de educação ambiental e consumo consciente, que orienta a população sobre o descarte correto de diferentes tipos de resíduos, incluindo eletrônicos, recicláveis e perigosos. A plataforma funciona por meio de site e aplicativo que conecta os cidadãos aos pontos de entrega voluntária em todo Brasil e incentiva a participação cidadã na gestão sustentável de resíduos.

Singapura20

Destaca-se pelo uso de *blockchain* para rastrear resíduos eletrônicos, garantindo transparência na cadeia logística desde a coleta até a reciclagem segura de componentes tóxicos, como metais pesados e terras raras.

Holanda

O bairro de Buiksloterham[21], em Amsterdã, funciona como um “living lab” (laboratório vivo) que testa soluções para cidades circulares, onde 90% dos materiais de construção de demolições são reutilizados, minimizando a geração de resíduos e promovendo a regeneração urbana. Em Roterdã[22] foi implementada uma política urbana de mineração de resíduos como parte de seu compromisso com a economia circular visando recuperar materiais valiosos de fluxos de resíduos como eletrônicos, veículos e entulhos de construção. A cidade estabeleceu a meta de reduzir em 50% o uso de matérias-primas primárias até 2030, recuperando materiais valiosos de resíduos eletrônicos, veículos abandonados e edifícios demolidos.

Quezon City (Filipinas)[23]

É uma referência interessante no contexto de redução de plásticos de uso único e economia circular urbana. Implementou *hubs* de reabastecimento em mercados locais, substituindo embalagens descartáveis por opções reutilizáveis, reduzindo em 30% o volume de plásticos de uso único.

Wyndham City (Austrália)[24]

Para aplicar tecnologia para otimizar a gestão de resíduos urbanos, a cidade implantou lixeiras inteligentes movidas a energia solar com sensores que monitoram o nível de resíduos em tempo real. Em apenas seis meses, a cidade reduziu em 80% as viagens de caminhões de coleta, gerando significativa economia de custos operacionais e redução nas rotas de coleta e nas emissões de gases de efeito estufa.

Colômbia

Medellín[25] adotou um sistema de classificação de resíduos baseado em inteligência artificial, e tecnologias geoespaciais (SIG) na gestão de resíduos urbanos utilizando imagens de alta resolução e dados georreferenciados em parceria com universidades, startups e entidades públicas, o que inclui sistemas de triagem de resíduos com análise de imagens e dados em tempo real. A tecnologia atingiu até 95% de precisão na identificação de resíduos urbanos, otimizando a triagem e melhorando a eficiência do serviço de limpeza pública. **Em Bogotá[26]**, a gestão pública incorporou o setor informal por meio de aplicativos que conectam catadores a geradores de resíduos. A cidade desenvolveu plataformas digitais e aplicativos para conectar catadores diretamente a geradores de resíduos, promovendo sua formalização, remuneração justa e reconhecimento social, em consonância com decisões da Corte Constitucional Colombiana que reforçam o direito à inclusão dos recicladores no sistema.

Freetown (Serra Leoa)[27]

Este case ilustra uma estratégia inovadora de gestão inclusiva de resíduos, com foco na tecnologia social e digital para capacitar e formalizar o trabalho de catadores. Estabeleceu uma parceria entre a prefeitura, empresas de gestão de resíduos, comunidades locais e operadoras de telefonia móvel para desenvolver um aplicativo de apoio aos catadores. A plataforma promove a capacitação, formalização e conexão dos coletores com os geradores de resíduos, gerando inclusão social e aumento de renda.

Waste Wise Cities (ONU-Habitat)[28]

É uma plataforma global voltada à melhoria da gestão de resíduos sólidos urbanos, A ferramenta desenvolvida pela ONU-Habitat foi aplicada em 74 cidades da África e da Ásia, permitindo o desenvolvimento de soluções baseadas em dados locais para otimizar a gestão de resíduos. A iniciativa contribui para o fortalecimento de capacidades municipais e a melhoria da governança ambiental urbana.

RouteSmart (Tecnologia de Roteirização)[29]

Solução digital de roteirização e otimização logística, que integra sensores e dados de GPS, algoritmos de IA e análise geoespacial para planejar trajetos otimizados de coleta de resíduos. A tecnologia contribui para a redução do tempo, custo, emissões e desgaste da frota, economia de combustível e aumento da eficiência logística nos serviços de limpeza urbana.

Kitakyush (Japão)[30]

Implantou um sistema de tarifação proporcional ao volume de resíduos gerados pelos domicílios, estimulando a redução na fonte. A política resultou em uma diminuição de até 50% na geração per capita de resíduos, reforçando o princípio do poluidor-pagador e promovendo mudanças de comportamento, incentivando os cidadãos a reduzirem a geração de resíduos na fonte, o que resultou em reduções significativas na quantidade de resíduo domiciliar.

A gestão sustentável de resíduos sólidos é um pilar central para o desenvolvimento de cidades inteligentes e resilientes. A efetividade de políticas como a PNRS e os planos estadual/municipal depende da integração entre três eixos: governança robusta, tecnologias inovadoras (IoT, IA, sensores) e engajamento social. Municípios, apesar de desafios financeiros e operacionais, podem superar obstáculos por meio de modelos colaborativos, como consórcios, PPPs e economia circular, que otimizam recursos e ampliam escala.

A transformação digital já mostra resultados: sistemas de coleta inteligente e triagem com IA reduzem custos, emissões e impactos ambientais. Destacam-se desafios críticos, como a gestão de resíduos eletroeletrônicos, que exige logística reversa eficiente, cooperação setorial e conscientização pública. A regulamentação brasileira avança com metas progressivas, mas demanda infraestrutura ampliada.

Referências Bibliográficas

1. BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 148, p. 3–7, 3 ago. 2010.

2. BRASIL. Decreto nº 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 13 abr. 2022. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.043-de-13-de-abril-de-2022-393566799. Acesso em: 11 abr. 2024.

3. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo.** São Paulo: SIMA, 2020. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/home/2020/12/plano-resi%CC%81duos-solidos-2020_final.pdf. Acesso em: 16 abr. 2025.

4. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. ***Global Waste Management Outlook 2024.*** Nairobi: UNEP, 2024. Disponível em: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/44939/global_waste_management_outlook_2024.pdf?sequence=3. Acesso em: 16 abr. 2025.

5. ABNT. **NBR ISO 37122:2020:** desenvolvimento sustentável de comunidades – indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida – indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

6. FAYOMY,G. U. *et al*. Smart Waste Management for Smart City: Impact on Industrialization. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 655, art. 012040, 2021. Doi:10.1088/1755-1315/655/1/012040

7. LEAL, Agnaldo Eduardo Fayal; COSTA, Vitor Carmo Curi; FERNANDES, Reimison Moreira; MELO, André Cristiano Silva; NAGATA, Verônica de Menezes Nascimento. *Applications of digital technologies for overcoming challenges in municipal solid waste reverse logistics: a systematic literature review.* **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 29, e20240048, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-415220240048. Acesso em: 09 jun. 2025.

8. ABDULLAHI, A. *et al.* Development of a Smart Waste Management System with Automatic Bin Lid Control for Smart City Environment. **EAI Endorsed Transactions on Smart Cities**, v. 7, n. 3, p. 1-8, Apr. 2023.

9. MACEDO, Letícia dos Santos; MANEO, Fernanda Peixoto (org.). **Guia**: sistemas de recuperação de resíduos recicláveis secos. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; AGEM, 2024. 126 p. (IPT Publicação, 3056). Disponível em: https://ipt.br/wp-content/uploads/2024/03/5_GuiaRecuperacaoReciclaveisSecos.pdf. Acesso em: 28 abr. 2025.

10. BRASIL. **Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto dos galpões de triagem**. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. Disponível em: https://www.conder.ba.gov.br/index.php/biblioteca/elementos-para-organizacao-da-coleta-seletiva-e-projeto-dos-galpoes-de-triagem. Acesso em: 28 abr. 2025.

11. CAMOLESI, Camila Guimarães; STOREL, Antônio Oswaldo; MACEDO, Letícia dos Santos (org.). **Guia:** implantação de unidades de compostagem para tratamento de resíduos orgânicos. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; AGEM, 2024. 90 p. (IPT Publicação, 3052). Disponível em: https://ipt.br/wp-content/uploads/2024/03/3_GuiaimplantacaoUnidadedeCompostagem.pdf. Acesso em: 24 abr. 2025.

12. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Lixo municipal:** manual de gerenciamento integrado. 4. ed. São Paulo: IPT; CEMPRE, 2018. 374 p. (IPT Publicação). Disponível em: https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf. Acesso em: 24 abr. 2025.

13. SHAHABUDDIN, M. *et al.* A review of the recent development, challenges, and opportunities of electronic waste (e-waste). **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 20, p. 4513–4520, 2023. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13762-022-04274-w.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

14. LIU, K. *et al.* A global perspective on e-waste recycling. Circular Economy, v. 2., n. 1, p. 1-16, Mar. 2023. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773167723000055. Acesso em: 10 abr. 2024.

15. MINISTRY OF HOUSING AND URBAN AFFAIRS GOVERNMENT OF INDIA. **E-Waste Management in Smart Cities**. New Delhi: Office of the Principal Scientific Adviser to the Government of India, 2025. p. 4 - 5. (Advisory number 23)

16. BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF: seção 1, 13 fev. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10240.htm. Acesso em: 17 abr. 2025.

17. MACEDO, Letícia dos Santos; REBELO, Cláudia Zveibel Toporovski; SOLER, Fabricio Dorado (org.). **Guia:** sistemas de logística reversa no contexto dos municípios. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; AGEM, 2024. 130 p. (IPT Publicação, 3054). Disponível em: https://ipt.br/wp-content/uploads/2024/03/4_GuiaSistemasLogisticaReversa.pdf. Acesso em: 17 abr. 2025.

18. BERTIOGA (Cidade). **Bertioga inaugura 1º projeto-piloto de tratamento de resíduos do Estado de SP em parceria com o IPT**. Disponível em: https://www.bertioga.sp.gov.br/bertioga-inaugura-1o-projeto-piloto-de-tratamento-de-residuos-do--estado-de-sp-em-parceria-com-o-ipt. Acesso em: 19 abr. 2025.

19. ECYCLE. **Consumo consciente e descarte correto de resíduos**. 2024. Disponível em: https://www.ecycle.com.br. Acesso em: 19 abr. 2025.

20. JIANG, Peng *et al.* Blockchain technology applications in waste management: overview, challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 421, art. 138466, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138466. Acesso em: 19 abr. 2025.

21. ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Circular economy case studies**. 2023. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/shaping-a-sharing-economy-amsterdam. Acesso em: 19 abr. 2025.

22. METABOLIC. ***Circular Rotterdam:*** *Towards a Circular Economy*. Amsterdam: Metabolic, 2023. Disponível em: https://www.metabolic.nl/projects/urban-mining-scan-for-the-province-of-south-holland/Acesso em: 19 abr. 2025.

23. QUEZON CITY GOVERNMENT. **No to Single-Use Plastics Policy and Refill Hub Initiative.** 2023. Disponível em: https://quezoncity.gov.ph/un-environment-programme-2023-champion-of-the-earth-quezon-city-mayor-joy-belmonte/. Acesso em: 19 abr. 2025.

24. WYNDHAM CITY COUNCIL. **Smart Waste Management Program**. 2023. Disponível em: https://www.wyndham.vic.gov.au/services/waste-recycling/other-waste-recycling-services/waste-education-programs-and-initiatives. Acesso em: 19 abr. 2025.

25. CASTRO-BUITRAGO, Erika; VASQUEZ-SANTAMARIA, Jorge Eduardo; JARAMILLO DE LOS RÍOS, Luis Felipe. Planejamento urbano e política de gestão de resíduos sólidos em Medellín, questões preliminares para uma análise jurídica e econômica. **Opinión Jurídica**, Medellín, v. 10, n. spe, p. 141-156, Dec. 2011. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-25302011000300009&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 19 abr. 2025.

26. WIEGO. **Formalizing Informal Recyclers in Bogotá:** Policy, Practice and Technology. 2022. Disponível em: https://www.wiego.org/blog/colombia-global-model-inclusive-recycling-under-threat/. Acesso em: 19 abr. 2025.

27. FREETOWN CITY COUNCIL. **Transform Freetown Agenda – Waste Management and Digital Inclusion.** 2023. Disponível em: https://fcc.gov.sl. Acesso em: 19 abr. 2025.

28. UN-HABITAT. **Waste Wise Cities Tool.** Nairobi: UN-Habitat, 2023. 84 p. Disponível em: https://fukuoka.unhabitat.org/wp-content/uploads/2021/12/Waste-wise-cities-tool-EN-13.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

29. ROUTESMART TECHNOLOGIES. ***Waste Collection Routing Software.*** 2023. Disponível em: https://www.routesmart.com/waste-collection/. Acesso em: 19 abr. 2025.

30. OECD. **Waste Management and the Circular Economy in Selected Asian Cities**. Paris: OECD Publishing, 2022. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/waste-management-and-the-circular-economy-in-selected-oecd-countries_9789264309395-en.html. Acesso em: 19 abr. 2025.

7 Produção e Distribuição de Energia Elétrica

A produção e distribuição de energia elétrica são pilares essenciais para o progresso sustentável dos municípios. No contexto do estado de São Paulo, a segurança energética e a gestão municipal devem estar alinhadas às exigências de transição energética e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável[1], em especial, o ODS 7 que, trata-se do fornecimento de energia limpa e acessível. Neste capítulo serão abordados a estrutura dos sistemas elétricos, os principais obstáculos enfrentados pelos municípios, as soluções inteligentes viáveis à gestão e as tendências que vem surgindo nessa esfera.

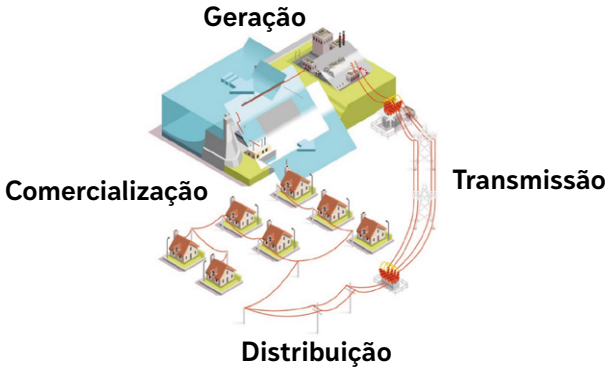
7.1 Composição dos Sistemas

O sistema de produção e distribuição de energia elétrica no estado de São Paulo é estruturado por uma combinação de geração, transmissão e distribuição, envolvendo diversos agentes públicos e privados. A segurança energética e a gestão municipal desempenham papéis complementares nesse contexto, com responsabilidades específicas atribuídas por legislações federais e estaduais.

São Paulo é atendido por múltiplas fontes de geração de energia elétrica, incluindo hidrelétricas, termelétricas e fontes renováveis. A Companhia Energética de São Paulo (CESP) administra importantes usinas hidrelétricas, como Jaguari, Paraibuna e Porto Primavera, integradas ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Além disso, a Empresa Metropolitana de Águas e Energia (EMAE) gerencia usinas hidrelétricas e termelétricas no estado [2].

A Figura 7.1 apresenta um esquema simplificado do sistema de redes elétricas.

Figura 7.1: Estrutura de Redes Elétricas



Fonte: CNI-SESI-SENAI-IEL[3]

Transmissão e Distribuição

A transmissão de energia no estado é realizada por empresas como a Transmissão Paulista, enquanto a distribuição é responsabilidade de concessionárias como a Enel Distribuição São Paulo, que atende a capital e região metropolitana, e a EDP São Paulo, que opera em outras regiões.

Regulação e Fiscalização

A Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel [4, 5, 6, 7] é o órgão federal responsável pela regulação e fiscalização do setor elétrico, estabelecendo normas e resoluções que orientam as atividades das empresas do setor. No âmbito estadual, a Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo [8, 9] atua na fiscalização de serviços públicos de energia elétrica, incluindo a supervisão de concessionárias e permissionárias, além de usinas de geração.

Responsabilidades dos Municípios: Iluminação Pública

A responsabilidade pela prestação de serviços de iluminação pública é atribuída aos municípios, conforme os artigos 30 e 149-A da Constituição Federal10. Isso inclui a elaboração de projetos, implantação, expansão, operação e manutenção das instalações.

Responsabilidades dos Municípios: Fiscalização e Gestão Local

Embora a fiscalização direta das concessionárias de energia elétrica seja competência da Aneel e da Arsesp [8, 9], os municípios têm um papel crescente na supervisão dos contratos de distribuição de energia. O Projeto de Lei 1272/24[11], aprovado pela Câmara dos Deputados, propõe ampliar a participação dos municípios na supervisão desses contratos, permitindo manifestações durante a fase de licitação e atuação complementar na fiscalização e controle, sempre em conformidade com as resoluções da Aneel [12].

Responsabilidades dos Municípios: Planejamento Energético Municipal

Os municípios também devem considerar a eficiência energética e o uso racional de energia em seus planejamentos urbanos. Embora a coordenação e supervisão do planejamento energético estadual sejam atribuições do governo estadual, conforme o Decreto nº 65.796/2021 [13], os municípios podem colaborar na implementação de programas locais de eficiência energética e no incentivo ao uso de fontes renováveis.

7.2 Desafios na Produção e Distribuição de Energia

Os municípios do estado de São Paulo enfrentam diversos desafios na produção e distribuição de energia elétrica, impactando diretamente a segurança energética e a gestão municipal **[14]**. Esses desafios exigem uma abordagem integrada entre os níveis federal, estadual e municipal, com investimentos em infraestrutura, capacitação de recursos humanos e adoção de tecnologias inovadoras para garantir a segurança energética e a eficiência na gestão municipal[16]. A seguir, destacam-se os principais desafios identificados [14], [15]

Infraestrutura Deficiente e Vulnerabilidade a Eventos Climáticos

A infraestrutura elétrica municipal, frequentemente obsoleta ou inadequada, torna-se suscetível a falhas durante tempestades e vendavais. Eventos climáticos extremos, como os ocorridos em novembro de 2023, resultaram em apagões que afetaram milhões de residências e serviços essenciais, evidenciando a fragilidade do sistema elétrico local.

Falta de Recursos para Fiscalização e Gestão Local

A Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo [8, 9] enfrenta limitações significativas, operando com apenas 24 funcionários para fiscalizar 19 empresas de energia nos 645 municípios

paulistas. Além disso, cortes orçamentários federais impactaram a capacidade de fiscalização, comprometendo a supervisão efetiva das concessionárias.

Perdas de Energia e Ineficiência na Distribuição

As perdas de energia, tanto técnicas quanto não técnicas, representam um desafio contínuo. Em 2020, as perdas totais na distribuição de energia elétrica no Brasil foram de aproximadamente 14,8% do mercado consumidor, impactando diretamente os custos para os consumidores e a eficiência do sistema [16].

Necessidade de Investimentos em Infraestrutura Sustentável

A adaptação das cidades aos impactos da crise climática exige investimentos em infraestrutura energética sustentável. Medidas como o manejo adequado da vegetação urbana e a climatização eficiente de prédios públicos são essenciais para reduzir o consumo de energia e melhorar a resiliência do sistema elétrico municipal.

Transição Energética e Integração de Fontes Renováveis

A diversificação da matriz energética, com ênfase em fontes renováveis como a solar, é crucial para fortalecer a segurança energética. A implementação de redes inteligentes e sistemas de armazenamento de energia pode melhorar a eficiência e a resiliência do sistema elétrico municipal, reduzindo a dependência de fontes não renováveis.

7.3 Planejamento e Nexo Água-Energia-Alimentos

O Planejamento Urbano, e estritamente o Planejamento Energético de Cidades e Regiões, onde se procuram rotas de redução de riscos para a Segurança Energética local, pode se beneficiar de uma visão integrada e sinérgica do Nexo Água-Energia-Alimentos[17] ("Water-Energy-Food Nexus – NWEF"). O NWEF nas cidades representa fluxos interconectados que influenciam serviços básicos e a sustentabilidade urbana. Esta é mais uma ferramenta que busca as vantagens de se utilizar as relações já conhecidas e explícitas nas normas ABNT NBR ISO 37120[18] e no uso da Agenda 2030[1] (ODSs 2, 6, 7 e 11) para se obter melhores resultados e eficiência nas políticas públicas para o setor [17].

A interdependência entre água, energia e alimentos é evidente nas exigências destes recursos: a captação e tratamento de água necessitam de energia, enquanto a produção de alimentos demanda grandes volumes de água. A implementação de políticas integradas é crucial para assegurar uma gestão eficiente dos recursos hídricos, energéticos e alimentares, tendo em vista as mudanças climáticas.

O Nexo Água-Energia-Alimentos (NWEF) em cidades se manifesta por meio de fluxos interconectados que impactam a oferta de serviços básicos e a sustentabilidade urbana. Os principais fluxos incluem os indicados a seguir.

- **Água → Energia**

  A captação, tratamento e distribuição de água exigem energia, assim como o tratamento de esgoto e a dessalinização. A disponibilidade hídrica também influencia a geração hidrelétrica.

- **Energia → Água**

  A energia é essencial para a gestão hídrica urbana, enquanto termelétricas e hidrelétricas consomem grandes volumes de água.

- **Água → Alimentos**

  A agricultura periurbana depende de água para irrigação, enquanto a qualidade hídrica impacta a segurança alimentar.

- **Alimentos → Água**

  A produção de alimentos consome grandes volumes de água, e o desperdício alimentar agrava esse consumo indireto.

- **Energia → Alimentos**

  O transporte, armazenamento e processamento de alimentos demandam energia, enquanto a produção de biocombustíveis pode competir por terras agrícolas.

- **Alimentos → Energia**

  Resíduos alimentares podem ser transformados em biogás, mas a produção de biocombustíveis pode afetar a disponibilidade de água e solo para alimentos.

Pode-se citar as seguintes funcionalidades e vantagens agregadas ao planejamento integrado com esta concepção do NWEF.

- **Embasamento para Decisões**

  Avalia os impactos sociais em cadeias produtivas, considerando condições de trabalho e efeitos em comunidades vulneráveis.

- **Identificação de Desigualdades**

  Permite direcionar políticas para grupos vulneráveis, como pequenos produtores e populações de baixa renda.

- **Melhoria da Governança**

  Auxilia na gestão integrada dos recursos e minimiza conflitos.

- **Avaliação de Políticas Existentes**

  Monitora impactos sociais e permite ajustes estratégicos.

- **Criação de Incentivos e Certificações**

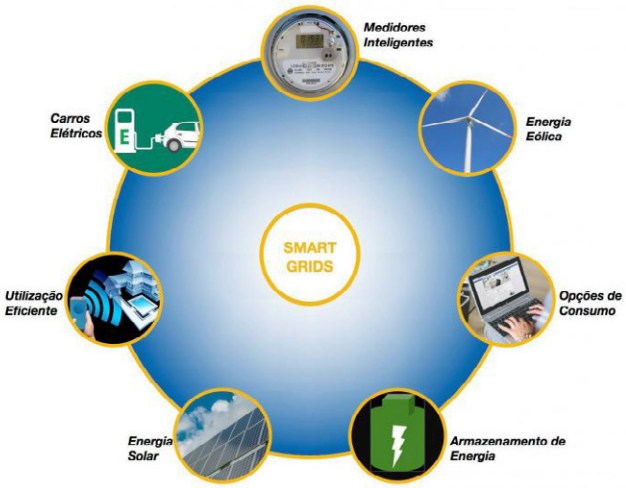
  Desenvolve selos que promovem produção e consumo sustentáveis.

A integração da análise de Avaliação do Ciclo de Vida – ACV e suas variantes no planejamento das políticas públicas do NWEF é essencial para garantir soluções sustentáveis, equitativas e resilientes. O Estado de São Paulo pode avançar na gestão integrada dos recursos naturais ao alinhar eficiência ambiental, viabilidade econômica e justiça social.

7.4 Sistemas Inteligentes Aplicáveis à Gestão

Os sistemas inteligentes aplicáveis à gestão da produção e distribuição de energia elétrica nos municípios do estado de São Paulo são fundamentais para garantir a segurança energética e aprimorar a gestão municipal. Vide exemplos de áreas de aplicação na figura a seguir.

Figura 7.2: Exemplos de áreas de aplicação para sistemas inteligentes.



Fonte: Jéssica Gomes [20]

A seguir, destacam-se as principais tecnologias e soluções adotadas.

Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grids)

As Smart Grids representam uma evolução das redes elétricas tradicionais, incorporando tecnologias avançadas de comunicação e automação para otimizar o gerenciamento de energia. Elas permitem uma integração eficiente entre os diversos agentes do sistema elétrico, promovendo uma troca de informações em tempo real. Essa conectividade proporciona maior controle sobre o consumo, ajuda a reduzir perdas e melhora a qualidade do fornecimento, além de facilitar a integração de fontes renováveis. No Brasil, iniciativas como o projeto Urban Futurability na Vila Olímpia, em São Paulo, exemplificam a aplicação dessas tecnologias, incluindo a formação de gêmeos digitais da rede elétrica e a implantação de um laboratório vivo para testes em campo de tecnologias disruptivas no setor elétrico.

Medidores Inteligentes

Os medidores inteligentes são dispositivos que registram e transmitem dados detalhados sobre o consumo de energia em tempo real. Eles permitem que os consumidores monitorem seus gastos e identifiquem padrões de consumo, contribuindo para uma gestão mais eficiente e personalizada do uso da energia elétrica. Além disso, esses medidores facilitam a detecção de anomalias e o gerenciamento de tarifas, oferecendo aos consumidores a oportunidade de economizar em suas contas de energia [21].

Automação e Monitoramento Remoto

A automação e o monitoramento remoto são componentes essenciais das Smart Grids. Sistemas de automação permitem que os consumidores identifiquem os momentos de preços mais baixos para armazenar energia ou acionar equipamentos, como máquinas de lavar roupa. Isso é possível para quem opta pela modalidade tarifária da tarifa branca, que oferece valores variados ao longo do dia, promovendo economia na conta de luz e ajudando a reduzir os picos de demanda no sistema elétrico.

Integração de Fontes Renováveis e Armazenamento de Energia

A integração de fontes de energia renováveis, como solar e eólica, é um dos pilares das Smart Grids. Com a capacidade de gerenciar a variabilidade dessas fontes, as redes inteligentes garantem que a energia gerada seja utilizada de forma eficiente e que a oferta se ajuste à demanda. Além disso, sistemas de armazenamento de energia, como baterias, oferecem maior flexibilidade para a gestão da demanda e oferta de energia. Em momentos de baixa demanda, estes sistemas armazenam o excesso de energia para utilização em horários de pico, postergando a necessidade de ampliar a capacidade de geração.

Tecnologias de Cibersegurança

Com a crescente digitalização do setor elétrico, a segurança cibernética se torna uma preocupação fundamental. Medidas robustas de segurança são essenciais para proteger a infraestrutura crítica e os dados dos consumidores. Isso inclui a utilização de criptografia, autenticação e monitoramento contínuo de sistemas, garantindo a integridade e confiabilidade das redes inteligentes.

7.5 Tendências em Energia Elétrica

A integração da sustentabilidade urbana na produção e distribuição de energia elétrica tem se consolidado como uma tendência estratégica para os municípios, visando à segurança energética e à gestão eficiente dos recursos. A seguir, destacam-se as principais tendências observadas nesse contexto [19], [22].

Integração de Fontes Renováveis na Infraestrutura Urbana

A adoção de fontes de energia renovável, como solar e eólica, está se expandindo nas áreas urbanas. Em cidades como São Paulo, Fortaleza e Curitiba, iniciativas como a instalação de painéis solares em escolas públicas e edifícios municipais têm contribuído para a redução da dependência de fontes não renováveis e para a promoção de uma matriz energética mais limpa e resiliente. Essas ações não apenas diminuem os custos operacionais, mas também educam a população sobre práticas sustentáveis. Outra tendencia que traz sinergia é a transparência sobre o uso da energia pública (ex: painéis nos prédios da prefeitura).

Implementação de Redes Inteligentes (Smart Grids)

As redes inteligentes utilizam tecnologias como Internet das Coisas (IoT), big data e inteligência artificial para otimizar a distribuição de energia. Essas redes permitem o monitoramento em tempo real do consumo energético, a detecção de falhas e a integração eficiente de fontes renováveis. Além disso, facilitam a gestão da demanda e a melhoria da qualidade do fornecimento, contribuindo para a sustentabilidade e resiliência das cidades [19].

Promoção da Microgeração Distribuída

A microgeração distribuída, por meio da instalação de sistemas fotovoltaicos em residências e estabelecimentos comerciais, tem se popularizado como uma solução para descentralizar a produção de energia. Essa abordagem reduz perdas na transmissão, diminui custos e promove a autonomia energética dos consumidores. Além disso, contribui para a diversificação da matriz energética e para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

Uso de Tecnologias de Armazenamento de Energia

O armazenamento de energia, por meio de baterias e outras tecnologias, permite acumular eletricidade gerada em períodos de baixa demanda para utilização em horários de pico. Essa prática aumenta a eficiência do sistema elétrico, reduz a necessidade de investimentos em novas infraestruturas e contribui para a estabilidade da rede elétrica, especialmente em áreas urbanas com alta densidade populacional.

Incentivos Públicos e Educação Ambiental

Governos municipais têm implementado políticas públicas que incentivam a adoção de práticas sustentáveis, como a instalação de sistemas de energia renovável e a modernização da infraestrutura elétrica. Além disso, programas de educação ambiental e campanhas de conscientização têm sido fundamentais para engajar a população na transição para uma matriz energética mais sustentável. Pode-se citar algumas questões específicas a serem desenvolvidas nesta rota:

- Programas de incentivo à geração residencial e comercial (prosumidores);
- Atendimento energético a áreas vulneráveis e regularização de ligações precárias.

Referências Bibliográficas

1. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Resolução A/RES/70/1 da Assembleia Geral. **Transformando nosso mundo:** a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. New York; ONU, 2015. (Menciona os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS).

2. ALMEIDA, B. Fiscalização de energia em São Paulo enfrenta desafios com recursos reduzidos. **Portal de Notícias Brasil em Folhas**, 16 abr. 2024. Disponível em: https://www1.brasilemfolhas.com.br/2024/10/fiscalizacao-de-energia-em-sao-paulo--enfrenta-desafios-com-recursos-reduzidos/. Acesso em: 24 abr. 2025.

3. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. Setor Elétrico Brasileiro. **Notícias de Inovação e Tecnologia**, 17 nov. 2021. Disponível em: https://web.archive.org/web/20211128090838/https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao--e-tecnologia/setor-eletrico-brasileiro/. Acesso em: 24 abr. 2025.

4. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 414/2010. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. **Diário Oficial da União**, Brasília, 15 set. 2010. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112868. Acesso em: 27 abr. 2024.

5. SÃO PAULO (Estado). Lei Complementar nº 1.025, de 7 de dezembro de 2007. Transforma a Comissão de Serviços Públicos de Energia - CSPE em Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo - ARSESP, dispõe sobre os serviços públicos de saneamento básico e de gás canalizado no Estado, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 8 dez. 2007. Disponível em: https://www.al.sp.gov.br/norma/74753. Acesso em: 24 abr. 2025.

6. BRASIL. Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 8 jul. 1995. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9074cons.htm. Acesso em: 24 abr. 2025.

7. BRASIL. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica. Disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 27 dez. 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9427cons.htm. Acesso em: 24 abr. 2025.

8. ARSESP. **Espaço dos Municípios – Energia Elétrica.** Disponível em: https://www.arsesp.sp.gov.br/paginas/espaco-dos--municipios-energia-eletrica.aspx. Acesso em: 24 abr. 2025a.

9. ARSESP. **O Setor de Energia Elétrica**. Disponível em: https://www.arsesp.sp.gov.br/Paginas/energia/energia-eletrica.aspx. Acesso em: 24 abr. 2025b.

10. BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em: 18 maio 2025.

11. CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto de Lei nº 1.272, de 2024. **Altera a Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995, e a Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, para ampliar a participação dos municípios na supervisão dos contratos de distribuição de energia elétrica**. Disponível em: https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2272149. Acesso em: 24 abr. 2025.

12. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Lista de Alto Risco da Administração Pública.** Disponível em: https://sites.tcu.gov.br/listadealtorisco/sustentabilidade_do_suprimento_de_energia_eletrica.html. Acesso em: 24 abr. 2025.

13. SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 65.796, de 21 de outubro de 2021. Dispõe sobre [assunto genérico do decreto, por exemplo: medidas relacionadas à gestão de recursos hídricos. **Diário Oficial do Estado de São Paulo,** São Paulo, 22 out. 2021.

14. HOPPE, Guilherme. A crise de infraestrutura energética de São Paulo: a necessidade urgente de soluções tecnológicas inteligentes. **Cenário Energia**, 17 out. 2024. Disponível em: https://cenarioenergia.com.br/2024/10/17/a-crise-de-infraestrutura-energetica-de-sao-paulo-a-necessidade-urgente-de-solucoes-tecnologicas-inteligentes/. Acesso em: 24 abr. 2025.

15. CANEPPELE, Fernando de Lima. Gestões municipais em 2025 terão de investir na infraestrutura das redes elétricas locais. **Jornal da USP**, 10 dez. 2024. Disponível em: https://jornal.usp.br/radio-usp/gestoes-municipais-em-2025-terao-de-investir-na-infraestrutura-das-redes-eletricas-locais/. Acesso em: 24 abr. 2025.

16. CANEPPELE, Fernando de Lima. "Série Energia": Perdas de energia na distribuição e transmissão são grande desafio. **Jornal da USP,** 8 dez. 2023. Disponível em: https://jornal.usp.br/campus-ribeirao-preto/serie-energia-perdas-de-energia-na-distribuicao-e-transmissao-sao-grande-desafio/. Acesso em: 24 abr. 2025.

17. SANCHEZ JUNIOR, O. GALLARDO, A. L. C. F. Nexo Água-Energia-Alimentos pela abordagem S – LCA. *In:* CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EM LATINOAMÉRICA, CILCA, 11., 2025, Cidade do Mexico. **Anais [...].** Cidade do Mexico: Cilca, 2025. 4 p.

18. ABNT. **NBR ISO 37120:2017**: Cidades e comunidades sustentáveis – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

19. SOLUÇÕES EDP. **Smart Grid no Brasil**: redes inteligentes de energia, o que são? Disponível em: https://solucoes.edp.com.br/blog/smart-grids/. Acesso em: 24 abr. 2025.

20. GOMES, Jéssica. **Análise de eficiência energética em sistemas de iluminação pública com fontes renováveis**. 2025. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2025. Disponível em: https://eesc.usp.br/ppg-admin/sel/wp-content/uploads/sites/2/2021/10/Smart-Grids-768x543-1.jpg. Acesso em: 18 maio 2025.

21. IDEC. **Smart grid:** conheça as redes elétricas inteligentes. Disponível em: https://idec.org.br/dicas-e-direitos/smart-grid. Acesso em: 24 abr. 2025.

22. CERTI. **Smart grids:** o que são e tendências para redes inteligentes no Brasil. Disponível em: https://certi.org.br/blog/smart-grids-redes-inteligentes-brasil-tendencias-beneficios/. Acesso em: 24 abr. 2025.

8 Produção e Distribuição de Gás e Combustíveis

O abastecimento energético nos municípios é um fator essencial para o funcionamento de serviços públicos, transporte, iluminação, saneamento e outras atividades urbanas. Nesse contexto, diversos tipos de combustíveis são utilizados, variando conforme a disponibilidade regional, os custos envolvidos e as políticas ambientais e de sustentabilidade. De forma geral, os combustíveis podem ser classificados em duas grandes categorias de origem: não renováveis (fósseis) e renováveis subdivididos em gasosos, líquidos e sólidos. Esse capítulo terá como foco os combustíveis gasosos e líquidos que são mais amplamente utilizados em municípios, conforme exemplos do Quadro 8.1.

Quadro 8.1: Exemplos de combustíveis renováveis e não renováveis – gasosos e líquidos

Tipos	Gasosos	Líquidos
Renováveis	Biogás, Biometano, Hidrogênio de baixa emissão de carbono	Etanol, biodiesel, HVO
Não renováveis (Fósseis)	Gás Natural, Gás Liquefeito de Petróleo	Gasolina, Óleo Diesel

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Os combustíveis fósseis, como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, são formados ao longo de milhões de anos a partir da decomposição de matéria orgânica e são amplamente utilizados devido à sua alta densidade energética e infraestrutura consolidada. No entanto, seu uso está associado à emissão de gases de efeito estufa e à efeitos ambientais.

Por outro lado, os combustíveis renováveis provêm de fontes que se regeneram em períodos curtos, como a biomassa, o etanol, o biogás, biometano, o biodiesel e o HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil* ou Óleo Vegetal Hidrotratado)[1]. Esses combustíveis são considerados mais sustentáveis, pois emitem menos poluentes e contribuem para a redução da dependência de recursos não renováveis. A transição para o uso de energias de fontes renováveis nos municípios tem ganhado destaque como estratégia para mitigar os impactos das mudanças climáticas e promover o desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto ressalta-se que o Brasil reafirmou seu compromisso com o Acordo de Paris durante a COP29 ocorrida no ano passado em Baku no Azerbaijão, ao estabelecer a meta de reduzir entre 59% e 67% as emissões líquidas de GEE até 2035, em relação aos níveis de 2005[2]. Em 2023, as fontes de origem renovável representaram 89,2% da matriz elétrica e 49,1% da matriz energética total, com destaque para hidrelétricas, biomassa, solar e eólica[3].

O Brasil apresenta uma matriz energética diversa e com grande porcentagem de fontes de origem renovável, porém, no quesito emissões de gases de efeito estufa (GEE) aparece como quinto país mais emissor do mundo, responsável por 3,1 % das emissões globais[4]. Quando se olha para os setores, o setor com maior emissão de GEE é o setor de mudança do uso da terra, por conta do desmatamento, com 46% das emissões em CO_2 equivalente, seguido do setor de agropecuária, energia, resíduos e processos industriais com 28%, 18%, 4% e 4%, respectivamente[5].

Os municípios acabam tendo uma contribuição para as emissões no setor de energia em que tal contribuição vem da queima de combustíveis fósseis para geração de energia, transporte e usos industrial e residencial contribuindo para as emissões de dióxido de carbono (CO_2), um dos principais GEE. Segundo dados da Plataforma "Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa" - SEEG [5], por conta do aumento do consumo de óleo diesel, gasolina e querosene de aviação, as emissões do setor de transporte aumentaram 3,2 %, batendo recordes e, consequentemente, aumentando as emissões do setor de energia no ano de 2023.

O setor de energia e o setor de transportes podem colaborar efetivamente com a diminuição de emissões de gases de efeito estufa na substituição de fontes e combustíveis fósseis ou não renováveis por fontes e combustíveis renováveis. Incentivar a substituição de combustíveis como o diesel e a gasolina por biodiesel ou HVO e etanol, respectivamente, ou gás natural por biometano podem trazer benefícios como a diminuição de gases de efeito estufa e melhora da qualidade do ar das cidades.

8.1 Produção de Combustíveis Renováveis: Principais Aspectos

A substituição de combustíveis não renováveis (fósseis) por renováveis é uma das formas mais eficazes de descarbonização dos municípios, principalmente no Brasil, que dispõe de uma das maiores disponibilidades de biomassas e seus derivados, terras agricultáveis para culturas energéticas com preservação de áreas de proteção ambiental, índices de insolação e pluviométricas no mundo. Alguns dos combustíveis renováveis (líquidos e gasosos) que já estão em utilização ou em fase de introdução no mercado brasileiro, e que podem ser adotados pelas administrações públicas dos municípios, são apresentados a seguir.

Etanol

No Brasil, o etanol (combustível líquido renovável) é produzido a partir da fermentação alcoólica do açúcar da cana-de açúcar e do amido de milho. O Brasil hoje conta com 356 Usinas produtoras de etanol, sendo que 17 dessas Usinas produzem a partir do milho (13 % do total de etanol produzido). Desses 17, 10 são do tipo *flex* (produzem a partir de cana-de-açúcar e milho) e 7 são do tipo *full* (produzem somente de milho), se concentrando na região centro-oeste do país [6]. A produção anual em 2021 atingiu 27,53 bilhões de litros com projeção de atingir 30 bilhões de litros na próxima safra[6].

Além do açúcar e do milho, atualmente existem duas Usinas produzindo etanol de segunda geração a partir da hidrólise enzimática do bagaço e palha de cana, a Granbio e a Raizen. Segundo a Propeq[7] a produção total de etanol de segunda geração está por volta de 100 milhões de litros/ano e seu custo de produção é maior do que o de primeira geração viabilizando-se economicamente através da exportação para países europeus, que pagam preços maiores por esse tipo de combustível.

Biodiesel

Biodiesel é um combustível líquido renovável derivado da transesterificação de gorduras vegetais e animais (triglecerídios), que consiste na reação das gorduras com um álcool primário, metanol ou etanol, catalisado por uma base, normalmente KOH, gerando dois produtos: éster (biodiesel) e glicerina.

O consumo de biodiesel no Brasil, majoritariamente, se dá no setor automotivo, misturado ao óleo diesel, à semelhança do etanol na gasolina, atualmente na proporção dos 14 % estabelecidos na Lei Combustível do Futuro, que prevê a substituição de até 20 % até o ano 2030.

De acordo com a EPE[8], a Resolução do Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) publicada em outubro de 2015, torna possível comercializar e fazer uso voluntário de biodiesel, em quantidade superior ao percentual de sua adição obrigatória ao óleo diesel, que hoje se encontra em 14 %, para até 20 % em frotas cativas e 100 % no caso de uso experimental. Esse biodiesel adicional, ou biodiesel autorizativo pode ser adquirido direto do produtor, sem passar por leilões, mas necessita de autorização da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) [9].

O combustível B100 usado em caminhões a diesel é o biodiesel puro, composto por 100% de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos, derivados de fontes renováveis como óleos vegetais (soja, girassol, palma, etc.) ou gordura animal.

A utilização do B100 em caminhões a diesel já foi comprovada tecnicamente e está em utilização no exterior há alguns anos, exigindo pequenas alterações, principalmente no tanque de estocagem[10]. Nos EUA os tanques de óleo dos caminhões que utilizam B100 normalmente têm dois compartimentos, um menor para óleo diesel, e outro maior para B100, que tem um sistema de aquecimento acoplado ao motor.

Nas operações de partida utiliza-se o óleo diesel comum e quando a temperatura no tanque de B100 atinge uma temperatura adequada, ele automaticamente alterna para o B100. Nas operações de parada, retoma-se o óleo diesel por um curto período, suficiente para limpar as linhas de combustível. Além de renovável, a utilização do B100 reduz as emissões de gases ácidos, material particulado e metais eventualmente presentes no óleo diesel.

Apesar de ser produzido no país, o uso do B100 ainda não está regulamentado, de forma que não existe perspectiva, a curto e médio prazo, de utilização do B100 no Brasil. Por enquanto, resta a alternativa do uso autorizativo da ANP para misturas com teores maiores de 15 % de biodiesel com óleo diesel.

O lado negativo no uso do B100 em motores é que, devido ao seu menor poder calorífico, há um ligeiro aumento de consumo de óleo (~8 %), além de haver um aumento na frequência na troca de óleo lubrificante e de filtro de óleo[11] e aumento de emissão de NOx.

Apesar de atualmente a soja ser a maior fonte de óleo vegetal para produção de biodiesel no Brasil (72,1 %), outras variedades vegetais apresentam potenciais de produção de óleo maiores, podendo-se destacar a palma, ou dendê, cuja produtividade por ha/ano é cerca de 8 vezes maior do que a da soja, e a macaúba, palmeira nativa da região centro-oeste que, segundo Favaro [12], tem produtividade de óleo semelhante ao dendê e é endêmica na região de Minas Gerais e cerrado, podendo vir a ser uma importante fonte de B100 no futuro.

Diesel Verde (HVO)

O diesel verde também é derivado de gorduras vegetais e animais, mas o seu processo de produção difere do biodiesel podendo ser adotadas várias tecnologias para sua produção, como estabelecidas na Resolução ANP N° 842 [13], e que também define a especificação do diesel verde no Brasil.

O diesel verde é majoritariamente obtido a partir do hidrotratamento de óleo vegetal, que consiste na hidrogenação de gorduras em reatores catalíticos, gerando um óleo com características semelhantes às do óleo diesel e, diferentemente do biodiesel, não contém oxigênio. Também conhecido como HVO (*hydrogenated vegetable oil*) tem densidade e PCS ligeiramente menores que o óleo diesel, é isento de enxofre e compostos aromáticos e possui elevado número de cetano.

A sua produção pode-se dar em reatores exclusivos para óleos vegetais ou em reatores utilizando uma mescla com combustíveis fósseis, numa proporção em torno de 5 a 10 % de óleo renovável. A Petrobras detém essa tecnologia e já produziu biodiesel denominado HBIO em fase de demonstração, com 5 % de diesel verde.

Assim como o biodiesel, o HVO pode ser utilizado em motores em qualquer porcentagem, mas ainda não existe regulamentação para utilização de HVO 100 %. A produção do HVO teve início em 2007 na Suécia e atualmente é o terceiro biocombustível mais utilizado no mundo, depois do etanol e biodiesel. A produção mundial atingiu 14,2 bilhões de litros em 2019 e, à exceção do HBIO da Petrobras, ainda não é produzido em escala comercial no Brasil.

Independentemente da existência de regulamentação para uso de HVO 100 % em motores, algumas empresas já estão avaliando a viabilidade desse uso no país, obtendo autorização em caráter experimental da ANP.

Hidrogênio de Baixa Emissão de Carbono

De acordo com IRENA14 o hidrogênio verde como combustível gasoso apresenta um potencial muito maior do que os combustíveis fósseis, uma vez que sua produção está atrelada à energia solar e eólica, sendo um vetor de diminuição de emissão de gases de efeito estufa e, consequente descarbonização de processos industriais e de transportes.

Hidrogênio pode ser utilizado para geração de energia elétrica em células a combustível, bem como queimados em motores e turbinas. Como um reagente químico, o hidrogênio também pode substituir combustíveis fósseis na produção de fertilizantes (amônia), combustíveis líquidos (metanol, óleo diesel, querosene de aviação etc.) e em setores como siderurgia como agente redutor, para redução direta de minério de ferro.

Segundo IRENA14 a maior parte da produção mundial de hidrogênio (~95 %) baseia-se em combustíveis fósseis, gás natural e carvão, e o restante na eletrólise da água.

O maior componente de custo do hidrogênio verde produzido a partir da eletrólise da água é a energia elétrica, seguido do custo de investimento nos eletrolisadores. A eficiência atual de conversão de energia elétrica em hidrogênio está em torno de 65% (51,2 kWh/kg H2, base PCI), com perspectiva de atingir 75% em 2050, e o custo de investimento atual em eletrolisadores está entre 600-1000 dólares/kW. O custo do hidrogênio verde atual está cerca de 2 a 3 vezes maior do que o hidrogênio azul, produzido a partir de combustíveis fósseis, com captura e sequestro de CO_2.

Biometano

O biometano, é produzido a partir da purificação do biogás e a matéria-prima pode ser encontrada nos próprios municípios que podem transformar a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos em biogás [15, 16].

O biometano é um biocombustível gasoso, constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás que é um gás bruto obtido a partir da digestão anaeróbia de resíduos orgânicos[17, 18, 19].

As fontes de matéria-prima que podem ser utilizadas para a produção de biogás e, consequente, produção de biometano, são diversas, incluindo resíduos de abatedouros e dejetos animais (bovinos, suínos e aves), esgoto sanitário oriundos de estações de tratamento de esgoto, fração orgânica de resíduos sólidos urbanos e resíduos agroindustriais como a vinhaça e a torta de filtro gerada em usinas de açúcar e álcool[20, 21].

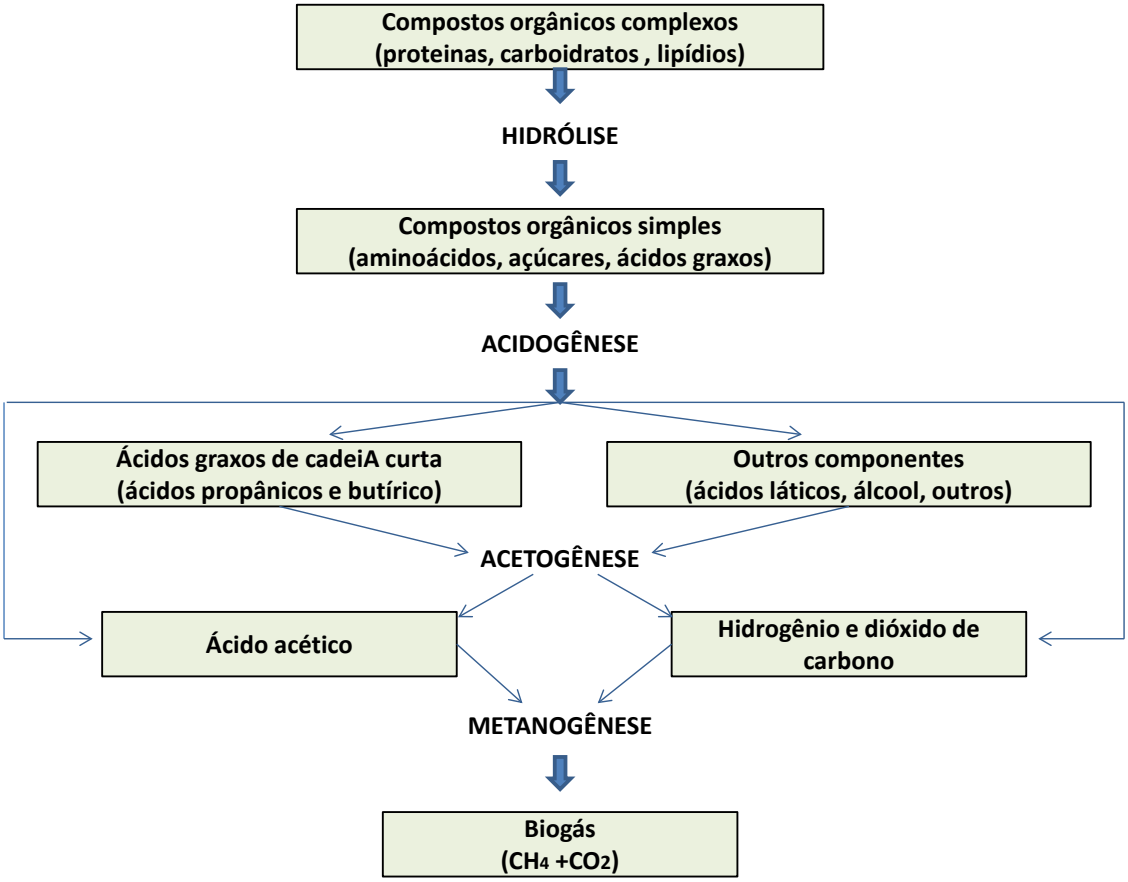
O processo de biodigestão ou digestão anaeróbia utilizado para produzir biogás consiste na decomposição da matéria orgânica presente na matéria-prima (resíduo) a ser degradada, na ausência de oxigênio. A biodigestão acontece em quatro fases: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese, conforme apresentado na **Figura 8.1.**

Ressalta-se que o biogás pode ter uma composição variável a depender da fonte de matéria-prima, do inóculo utilizado e das condições do processo de biodigestão, como temperatura e pH. Segundo COELHO[20, 21], os compostos presentes no biogás são o metano (CH_4) com cerca de 60% e o dióxido de carbono (CO_2) com cerca de 35% e, outros gases: hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, amônia, ácido sulfídrico, aminas voláteis e monóxido de carbono totalizando cerca de 5% da composição do biogás.

As principais tecnologias de biodigestão são os biodigestores indianos, chineses, modelo CSTR (sigla do inglês para *Continuous Stirred Tank Reactor*), modelo UASB (sigla do inglês para *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) e biodigestor canadense.

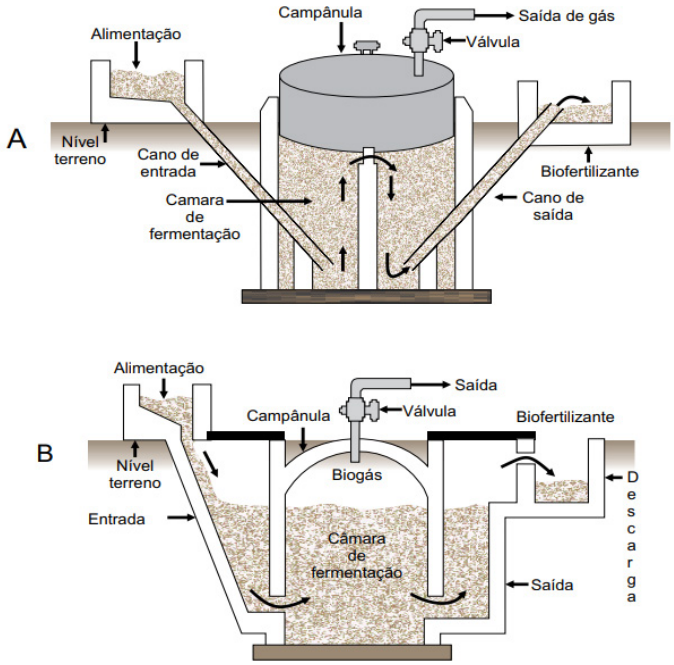
Os biodigestores conhecidos como indianos e chineses (**Figura 8.2**) foram desenvolvidos para o tratamento de dejetos animais e produção de fertilizantes. São modelos de baixo nível tecnológico e de baixo custo utilizados para pequena escala[20, 21].

Figura 8.1 Fluxograma simplificado do processo de digestão anaeróbia



Fonte: Coelho et al [20, 21].

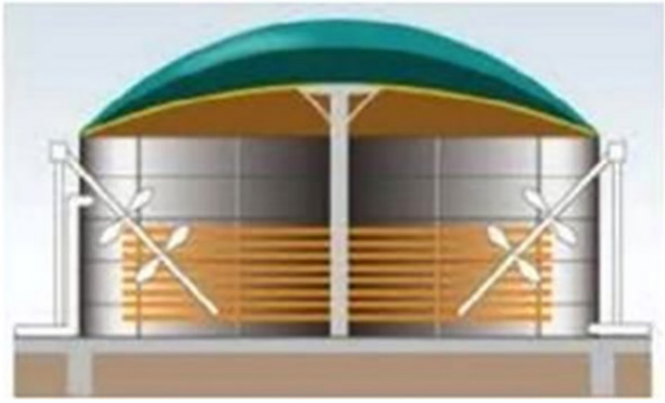
Figura 8.2 Modelos de biodigestores Indiano (A) e chinês (B)



Fonte: COELHO et al [20, 21].

O modelo CSTR (em português reator tanque contínuo de mistura) observado na **Figura 8.3** é considerado o primeiro modelo de biodigestor em escala industrial e tem sido utilizado para resíduos (matéria-prima) mais densos, com teor de sólidos totais (ST) entre 15 a 20%, como os oriundos de resíduos de produção animal e vegetal e lodos de ETE (Estação de Tratamento de Efluentes)[22,23].

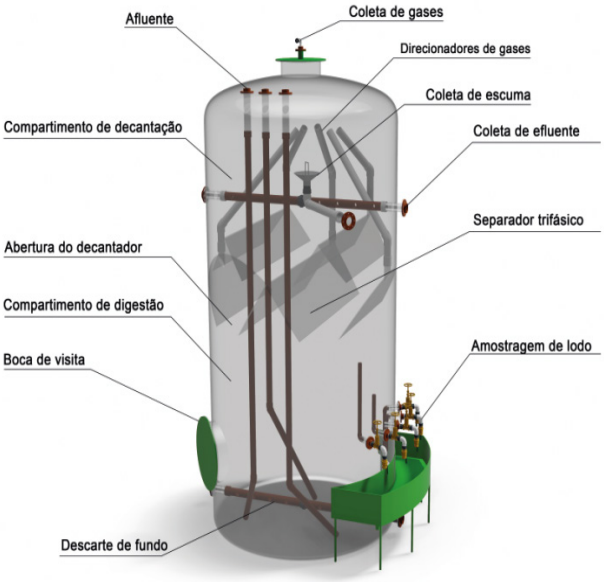
Figura 8.3 Biodigestor modelo CSTR



Fonte: COELHO et al, 2018[20]

O modelo UASB (em português reator anaeróbio de fluxo ascendente), mostrado na **Figura 8.4** tem sido utilizado para resíduos provenientes de tratamento de esgoto e também para a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e rurais, e tem a capacidade de tratar efluentes com elevada carga orgânica com baixo tempo de retenção[20, 21].

Figura 8.4 Biodigestor modelo UASB



Fonte: COELHO et al [20, 21].

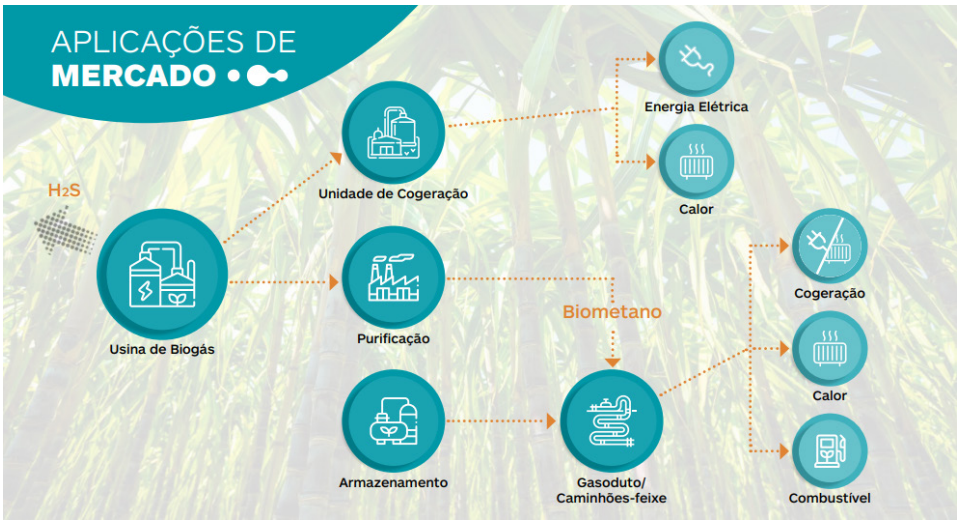
O biodigestor modelo canadense (**Figura 8.5**) é conhecido como biodigestor rural ou lagoa coberta utilizado para a biodigestão de dejetos animais (bovinos, suínos e aves) de construção simples, escavado no chão, coberto por uma lona impermeável e é amplamente utilizado em propriedades rurais que possuem criações animais.

Figura 8.5 Biodigestor modelo canadense

Fonte: Google imagens [24].

Segundo a ABIOGÁS [17, 18, 19], o biogás (**Figura 8.6**) tem diversas aplicações, como o uso para geração de energia elétrica e, a partir de sua purificação pode ser transformado em biometano e utilizado como combustível em veículos ou injetado em redes de gás natural[25].

Figura 8.6 Aplicações do Biogás



Fonte: ABIOGÁS, 2021[18]

É importante ressaltar que o biometano é produzido a partir da purificação do biogás para remover as impurezas e o CO_2. Com a purificação, o biometano fica apto a ser utilizado tanto por meio de injeção na rede de distribuição de gás natural ou para uso veicular.

Segundo COELHO[20, 21], a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis[26, 27] é a responsável pela regulação da qualidade do biometano para que ele possa ser intercambiável, ou seja, possa ser considerado como gás natural, o que permite sua injeção na infraestrutura de gasodutos e sua utilização como gás natural em uma série de setores, como residencial, comercial e industrial, em veículos e para a geração de energia elétrica. Para isso é necessário que o biogás passe pelo processo de purificação para que seja atingido os valores exigidos pelo Índice Wobbe (à medida que o CO_2 é removido, a densidade relativa do gás diminui, o poder calorífico aumenta e o valor do Índice Wobbe aumenta) nos dispositivos que regulam a qualidade do biometano[20, 21].

O mercado de biometano é regulamentado pela Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, que estabeleceu regras para a qualidade do biometano a partir das resoluções:

- Resolução ANP nº 685/2017[27], que estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional.
- Resolução ANP n° 8/2015[26], que se aplica ao biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.

Potencial de Produção de Biogás no Estado de São Paulo

Dados da Abiogás[19] apresentados na Figura 8.7 mostram o potencial de produção de biogás no Estado de São Paulo, a partir de diversos setores como: setor sucroenergético, agrícola, animais e saneamento, totalizando quase 13,5 bilhões de Nm^3/ano de biogás.

Figura 8.7: Potencial de produção de biogás no Estado de São Paulo

Fonte: Abiogás, 2025[19]

O Governo do Estado de São Paulo em parceria com a Fiesp apresentou os resultados de uma pesquisa sobre a produção de biometano que aponta que a capacidade atual — somando o que já está instalado e o que está em fase de implantação — é de aproximadamente 0,4 milhão de metros cúbicos de biometano por dia no Estado. No entanto, com o avanço da cadeia produtiva desse combustível, estima-se que o potencial de oferta possa chegar a 6,4 milhões de metros cúbicos diários, um volume 16 vezes superior à capacidade atual. A maior parte desse potencial (84%) está concentrada no setor sucroenergético, com destaque para o aproveitamento dos resíduos da cana-de-açúcar. Os 16% restantes podem ser obtidos a partir do biogás gerado nos aterros sanitários, por meio da decomposição da matéria orgânica[28].

De acordo ainda com a SEMIL[28], esse volume potencial de produção — 6,4 milhões de metros cúbicos por dia — representa cerca de 40% do consumo total de gás natural no Estado e aproximadamente 25% do consumo de óleo diesel utilizado no setor de transportes, especialmente em veículos pesados. Ressalta-se mais uma vez que o biometano, por sua origem renovável e menor emissão de carbono, apresenta-se como uma alternativa estratégica para a transição energética, com potencial relevante na redução das emissões de gases de efeito estufa e no combate ao aquecimento global.

A Secretaria ainda informa que com a adoção de incentivos, investimentos e políticas de fomento, o setor de biometano poderá gerar até 20 mil empregos diretos, indiretos e induzidos com o aumento da produção desse combustível renovável, além de contribuir para a redução dos gases de efeito estufa.

8.2 Qualidade dos Combustíveis Renováveis e Não Renováveis: Aspectos Importantes

Em cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes, a aquisição de combustíveis automotivos pelos municípios deve observar rigorosamente os princípios da administração pública utilizando como premissas: legalidade, impessoalidade, moralidade e eficiência. O procedimento padrão ocorre por meio de licitação, sendo o pregão eletrônico a modalidade preferencial, com critério de julgamento pelo menor preço por litro ou desconto sobre o valor da bomba.

É fundamental que o edital de licitação especifique de forma clara:

- Tipo de combustível (gasolina C comum, etanol hidratado, óleo diesel B S10 ou S500, entre outros);
- A forma de fornecimento (entrega em tanque próprio ou abastecimento direto em postos);
- A periodicidade de fornecimento ou abastecimento;
- Os pontos geográficos de atendimento;
- As exigências técnicas de qualidade do produto.

Recomenda-se que os contratos contenham cláusulas de penalidade para situações em que o combustível fornecido esteja fora das especificações legais, resguardando o interesse público.

Além do aspecto operacional, a aquisição de combustíveis também envolve considerações estratégicas, como a volatilidade de preços, os impactos ambientais e a busca por soluções energéticas mais sustentáveis.

Como Assegurar a Qualidade da Compra Dos Combustíveis

A qualidade dos combustíveis adquiridos é fundamental para o bom funcionamento da frota municipal, redução de custos com manutenção e preservação ambiental. A seguir, detalham-se os principais aspectos a relacionados à qualidade dos combustíveis.

Impactos dos Combustíveis Fora das Especificações

Combustíveis não conforme ou adulterados podem acarretar diversos problemas:

- **Aumento das emissões de poluentes e consumo**, contribuindo para a poluição do ar e comprometendo a saúde pública;
- **Prejuízos à manutenção da frota**, como entupimento de bicos injetores, falhas no sistema de ignição, desgaste prematuro de peças e redução da vida útil dos motores;
- **Risco à segurança**, especialmente em veículos de serviços essenciais como ambulâncias e viaturas.

Legislação - Resoluções ANP

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) é o órgão responsável por regular e fiscalizar o mercado de combustíveis. As seguintes resoluções estabelecem os parâmetros máximos e mínimos que garantem a qualidade dos combustíveis:

- **Resolução ANP nº 807/2020**[29], estabelece as especificações da gasolina automotiva;
- **Resolução ANP nº 907/2022**[30], define as especificações do etanol combustível;
- **Resolução ANP nº 968/2024**[9], define especificações do óleo diesel;
- **Resolução ANP nº 790/2019** [31], regulamenta o controle da qualidade dos combustíveis nos pontos de revenda.

PMQC – Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis

O Programa de Monitoramento da Qualidade de Combustíveis (PMQC), coordenado pela ANP, realiza o acompanhamento contínuo da qualidade dos combustíveis comercializados em todo o território nacional, identificando pontos de não conformidade. No âmbito do Programa, amostras são coletadas em postos revendedores e analisadas por laboratórios credenciados. Os resultados, de acesso público, podem ser consultados para subsidiar decisões de compra no site da ANP[32].

As cidades podem incorporar esses dados aos seus sistemas inteligentes de gestão de frotas, adotando o abastecimento em postos localizados em regiões com melhor desempenho nos indicadores de qualidade.

Ensaios para Assegurar a Qualidade dos Combustíveis

É recomendável que o contrato de fornecimento de combustíveis preveja a realização periódica de ensaios laboratoriais (Quadro 8.1).

Quadro 8.2 – Ensaios relacionados à qualidade de combustíveis

Tipo	Ensaios laboratoriais
Gasolina automotiva	Cor; Aspecto; Massa específica; Destilação; Teor de enxofre; Teor de metanol.
Etanol hidratado	Cor; Aspecto; Condutividade elétrica; Massa específica; Teor alcoólico; potencial hidrogeniônico (pH); Teor de hidrocarbonetos; Teor de metanol.
Óleo diesel	Aspecto; Cor; Cor ASTM; Teor de biodiesel; Massa específica; Teor de enxofre; Ponto de fulgor; Destilação; Teor de água; Contaminação total.

Fonte: Elaborado pelos autores

A contratação de laboratórios credenciados pela ANP [32] para a realização de análises pontuais ou para o monitoramento contínuo de combustíveis pode ser efetuada por meio de convênios ou aquisições diretas.

COMBUSTÍVEL PARA GERADORES (DIESEL)

Os geradores a diesel são amplamente utilizados em prédios públicos para assegurar a continuidade de serviços essenciais durante interrupções no fornecimento de energia elétrica. Entre as entidades que comumente fazem uso desses sistemas de emergência, destacam-se:

- Hospitais e Unidades de Pronto Atendimento (UPAs);
- Centros de Distribuição de Vacinas e Medicamentos;
- Centros de Operações Integradas e unidades da Defesa Civil;
- Sedes da Guarda Civil Municipal (GCM);
- Centros de Processamento de Dados (CPDs) e salas de Tecnologia da Informação (TI);
- Prédios administrativos com alta circulação de servidores e atendimento ao público.

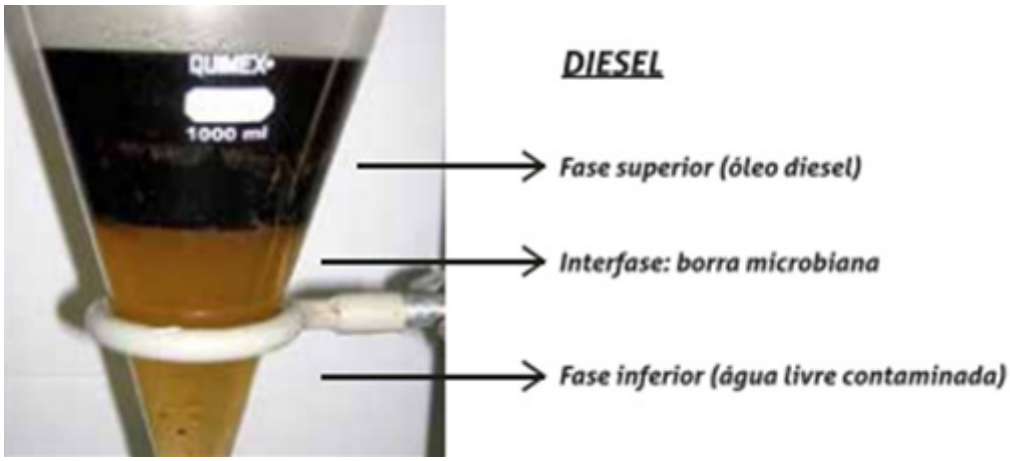
Para preservar a eficiência operacional dos geradores e evitar falhas em serviços públicos essenciais, é imprescindível seguir as boas práticas:

- Aquisição de óleo diesel S10 ou S500, conforme as especificações do equipamento, com controle rigoroso de qualidade por meio de análises laboratoriais realizadas em instituições conveniadas pela ANP[32];
- Armazenamento adequado, com tanques limpos, protegidos do sol e da umidade, para evitar degradação do combustível e proliferação de microrganismos [33].
- Manutenção preventiva dos geradores, com testes periódicos de funcionamento sob carga;

- Controle de estoque e validade do diesel, devido à sua natureza química, o biodiesel apresenta tendência à absorção de água. Como o óleo diesel comercial contém biodiesel em sua composição, existe a possibilidade de acúmulo de água nos tanques de armazenamento. Para minimizar esse risco, recomenda-se a verificação da presença de água no fundo dos tanques, no mínimo uma vez por semana, com a realização da drenagem sempre que necessário. Também é indicada a execução de limpezas periódicas dos tanques, a fim de preservar a qualidade e a estabilidade do combustível durante períodos prolongados de armazenamento.

Análise periódica do diesel armazenado é importante não apenas para verificar presença de água, mas também de fungos e alterações físico-químicas que possam comprometer o desempenho dos geradores e a degradação de peças (Figura 8.8).

Figura 8.8 – Aspectos a serem verificados no diesel



Fonte: CT Diesel/Biodiesel - CARTILHA DE BOAS PRÁTICAS – PORTUGUÊS Rev.2

A presença de água no combustível se apresenta de duas formas: livre (quando acumulada no fundo do tanque) ou dissolvida (quando misturada ao combustível) e pode desencadear uma série de problemas, tais como falhas no desempenho do motor, desenvolvimento de microrganismos e corrosão.

Qualidade de Combustíveis para Veículos Aquaviários

Em veículos aquaviários, o principal combustível utilizado é o óleo diesel marítimo (ODM), também conhecido como *Marine Gas Oil* (MGO). No entanto, embarcações menores, como lanchas, costumam utilizar gasolina.

O controle de qualidade desses combustíveis é fundamental para preservar a eficiência operacional, evitar falhas nos serviços e contribuir para a redução das emissões atmosféricas.

Assim como ocorre com os combustíveis automotivos, recomenda-se a realização sistemática do controle de qualidade dos combustíveis destinados a veículos aquaviários.

Máquinas Agrícolas

No cenário brasileiro, o diesel em mistura com biodiesel é o único combustível utilizado em tratores, colhedoras e outras máquinas autopropelidas.

A transição para combustíveis renováveis no maquinário agrícola é um passo importante para uma agricultura mais sustentável e com menor impacto ambiental.

A utilização de motores *flex* no maquinário agrícola, especificamente com a combinação diesel e etanol, é uma alternativa para aumentar a eficiência e reduzir custos operacionais, além de contribuir para a sustentabilidade. Esta tecnologia permite que as máquinas agrícolas funcionem com diesel ou etanol, ou uma combinação de ambos, dependendo da disponibilidade e do custo de cada combustível [22].

A empresa Bosch, confirmou o desenvolvimento de um motor capaz de rodar com diesel e etanol ao mesmo tempo. Esta tecnologia será aplicada inicialmente em colheitadeiras e locomotivas [34].

Novas fontes de energia para as operações agrícolas, dentre elas a energia elétrica, a tecnologia híbrida diesel-elétrica, combustíveis como as células de hidrogênio, o gás natural, o biogás e o biometano, também estão sendo estudadas [35].

8.3 Iniciativas para Substituir Combustíveis Fósseis por Renováveis no Estado de São Paulo

As cidades inteligentes, sustentáveis e resilientes devem liderar o movimento de transição energética, adotando combustíveis renováveis e soluções de baixa emissão de carbono. O Estado de São Paulo já iniciou o movimento com diversas ações lideradas pela SEMIL – Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística, tendo como desdobramentos diversos planos de ações Estaduais e Municipais.

O PlanClima SP é o Plano do município de São Paulo que apresenta ações setoriais com metas de redução de emissões de gases de efeito estufa, como resultado da adesão do Estado à campanha Race to Zero, formalizada pelo Decreto nº 65.881, de 20 de julho de 2021. Essa adesão também contempla a campanha Race to Resilience, ambas no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. O Plano está alinhado à Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC), reforçando o compromisso de São Paulo com a sustentabilidade e a transição para uma economia de baixo carbono. (Lei Estadual nº 13.798 de 09/11/2009: institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas)

Muitos municípios do Estado têm avançado na substituição de combustíveis fósseis por combustíveis de fontes renováveis, com o objetivo de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover uma matriz energética mais limpa. Destacam-se:

- Ações e planos previstos na SEMIL[36, 37];
- Implementação do PlanClima SP, plano de ação climática do município de São Paulo que visa a neutralidade de carbono até 2050;
- Adoção de frotas elétricas ou híbridas, principalmente em serviços públicos de transporte e coleta;
- Estímulo à produção e uso de biocombustíveis.

Tais iniciativas são fortalecidas por mecanismos como o ICMS Ambiental, que premia financeiramente os municípios que adotam práticas sustentáveis, e pela Política Municipal de Mudança do Clima de São Paulo (Lei nº 14.933/2009)[38], que estabelece diretrizes para redução do uso de combustíveis fósseis e incentivo às tecnologias limpas.

Com essas ações, os municípios podem buscar não apenas abastecer suas frotas, mas também equilibrar eficiência operacional com responsabilidade ambiental, promovendo um modelo de mobilidade urbana mais sustentável.

Abaixo, são listados exemplos Planos e Políticas Públicas que buscam colaborar com a transição energética, descarbonização e diminuição de emissões de GEE (Gases Efeito Estufa).

- Plano Estadual de Energia 2050 – PEE 2050 [40];
- PlanClima SP[39], Plano de Ação Climática do Município de São Paulo, com meta de neutralidade de carbono até 2050;
- ICMS Ambiental, Incentivo financeiro a municípios que adotam boas práticas ambientais;
- Política de Mudança do Clima (Lei nº 14.933/2013) [41], estabelece diretrizes para a transição energética no Município de São Paulo.

A transição energética nos municípios é uma medida estratégica para redução das emissões de gases de efeito estufa e estímulo à economia verde. Algumas ações recomendadas incluem:

- Incentivar o uso de etanol hidratado na frota leve, sempre que tecnicamente viável;
- Implantar projetos-piloto com veículos elétricos ou híbridos, especialmente para transporte urbano e coleta seletiva;
- Firmar parcerias com cooperativas e Associações para a produção de biodiesel a partir de óleo residual;
- Buscar recursos federais e internacionais para programas de substituição da matriz energética da frota pública.

8.4 Questões Relacionadas à Distribuição de Gás e Combustíveis

Cada questão apresentada a seguir foi enriquecida com explicações contextualizadas e soluções baseadas em tecnologias digitais, estratégias de gestão e boas práticas para cidades inteligentes referentes à distribuição de combustíveis gasosos e líquidos.

Vazamentos e Riscos em Redes de Gás

- **Questão:** A presença de redes subterrâneas de gás natural ou GLP em ambientes urbanos exige vigilância constante. Tubulações antigas, mal identificadas ou sem manutenção podem apresentar vazamentos silenciosos que se acumulam e colocam em risco a segurança de moradores e trabalhadores. Em ambientes fechados, como apartamentos, vários acidentes com gás já causaram explosões com vítimas fatais ou feridos em edifícios residenciais e comerciais. É comum também o risco de vazamento em unidades com idosos que moram sozinhos e esquecem bocas de fogão abertas.
- **Solução Inteligente:** A utilização de sensores de vazamento, conectados por tecnologias IoT, permite monitoramento contínuo da rede. Quando integrados com mapas georreferenciados (GIS) e alertas da Defesa Civil, esses sistemas permitem resposta rápida e evitam acidentes graves. Em residências, recomenda-se o uso de sensores domésticos com alarmes sonoros e corte automático do fornecimento de gás. Programas sociais de prevenção e instalação gratuita desses sensores em lares com idosos podem salvar vidas.

Baixa Eficiência na Logística de Abastecimento

- **Questão:** A distribuição de GLP ou gás natural veicular - GNV para unidades públicas muitas vezes é feita sem previsão adequada de consumo. Isso gera desabastecimentos ou desperdícios, além de aumentar custos com logística.
- **Solução Inteligente:** Sistemas digitais com algoritmos de previsão de demanda ajudam a otimizar rotas e quantidades entregues. Com o rastreamento dos veículos de transporte e uso de QR Codes para controle de entrega, o gestor público ganha eficiência, rastreabilidade e economia.

Uso Excessivo de Combustíveis Fósseis em Veículos Públicos

- **Questão:** Frotas municipais são grandes consumidoras de combustíveis fósseis. Além de custo elevado, contribuem para a emissão de poluentes e agravamento das mudanças climáticas.
- **Solução Inteligente:** A conversão progressiva da frota para veículos elétricos ou a GNV, começando por ônibus, viaturas e caminhões de coleta, reduz significativamente as emissões. Programas municipais podem combinar incentivos fiscais, parcerias com montadoras e planejamento da infraestrutura de recarga ou abastecimento [42].

Fraudes na Distribuição e Transporte de Combustíveis

- **Questão:** Irregularidades como adulterar combustível, desviar carga e forjar medições ainda ocorrem em cadeias pouco digitalizadas. Isso compromete a qualidade do serviço e aumenta custos para os cofres públicos.

- **Solução Inteligente:** O uso de blockchain permite registrar todo o ciclo de transporte e entrega, com imutabilidade e segurança. Já sensores instalados nos tanques monitoram em tempo real o volume e a temperatura do combustível, prevenindo fraudes e oferecendo dados confiáveis para auditoria.

Falta de Planejamento Energético Municipal

- **Questão:** Muitos municípios não possuem dados consolidados sobre o consumo de energia e combustíveis em serviços públicos. Isso dificulta o planejamento e a definição de metas de eficiência ou transição energética.
- **Solução Inteligente:** A criação de observatórios locais com dashboards interativos permite monitorar consumo por Órgão municipal, frota ou região. Essa base orienta decisões e conecta o tema energia com mobilidade, orçamento e clima.

Alto Preço dos Combustíveis para a População

- **Questão:** O preço elevado da gasolina, etanol e diesel compromete o orçamento das famílias, principalmente aquelas de baixa renda. Também afeta o trabalho de autônomos, motoristas de aplicativos e entregadores, além de pressionar o custo de produtos e serviços nos comércios locais.
- **Soluções Tecnológicas (indiretas, mas eficazes)**[43]**:**
  - Aplicativos de comparação de preços: plataformas como 'Abastece Aí' ou 'Preço dos Combustíveis' permitem localizar os postos com melhor preço nas imediações. A divulgação desses apps por parte do município amplia o alcance dessa economia.
  - Estímulo a caronas solidárias: apps comunitários ou redes locais de compartilhamento de carona (para trajetos como escola-trabalho) ajudam a dividir os custos do deslocamento.
  - Planejamento de rotas e consumo: aplicativos que indicam a rota mais eficiente ajudam a economizar combustível. Oficinas comunitárias podem ensinar seu uso.
  - Frotas leves e sustentáveis em pequenos comércios: incentivo a bicicletas elétricas ou motos a GNV para entregadores e prestadores de serviço locais.
  - Ampliação do transporte público eficiente e monitorado digitalmente: sistemas com rastreamento por GPS e monitoramento de demanda facilitam a implantação de tarifas reduzidas ou gratuidades em trechos estratégicos.
  - Essas soluções não resolvem diretamente o preço dos combustíveis, mas ajudam a população a lidar com seus impactos por meio da tecnologia e da inovação social.

Alto Valor e Baixa Compreensão das Tarifas de Gás Natural

- **Questão:** Mesmo com regulação pública, a tarifa do gás natural residencial ou veicular é percebida como elevada. A população em geral desconhece como o valor da tarifa é calculado ou ajustado, o que gera desconfiança, insatisfação e dificuldade de planejamento financeiro. A falta de clareza também prejudica a adoção de hábitos de consumo consciente.
- **Soluções Digitais:**
  - Portal Municipal de Transparência Tarifária: Plataforma interativa explicando a composição tarifária (custo do gás, transporte, margem da distribuidora e impostos), com simuladores e gráficos acessíveis.
  - Aplicativos de Monitoramento Pessoal do Consumo: Integração com medidores inteligentes para alertar sobre picos de consumo e estimar o valor da conta antes do fechamento.
  - Painel Municipal de Indicadores Tarifários: Publicação online com séries históricas dos reajustes e comparativos com outros municípios, promovendo transparência regulatória.

- Oficinas Comunitárias de Inclusão Energética: Aulas e rodas de conversa em bairros sobre como entender a conta de gás, direitos do consumidor e dicas para economizar.

Essas soluções digitais promovem maior compreensão e engajamento da população, incentivam o uso eficiente da energia e reduzem reclamações e conflitos com a distribuidora.

Barreiras ao Uso Seguro e Acessível do Gás Natural Veicular (GNV)

- **Questão:** O GNV é uma opção mais barata e menos poluente que gasolina e o diesel, e por isso é amplamente utilizado por taxistas, motoristas de aplicativo e empresas de transporte. No entanto, enfrenta dois grandes entraves:
  - Risco na instalação dos cilindros de GNV nos veículos, especialmente quando feita em oficinas sem certificação, o que pode comprometer a segurança dos ocupantes.
  - Baixa disponibilidade de postos com GNV, o que dificulta o reabastecimento e obriga motoristas a percorrer longas distâncias ou fazer desvios significativos.
- **Soluções Inteligentes:**
  - Sistema de Certificação Digital para Oficinas de Instalação de GNV: Plataforma online com mapa de oficinas credenciadas, QR code no certificado e integração com fiscalização municipal.
  - Mapeamento Inteligente de Postos com GNV: Base de dados atualizada com postos que oferecem GNV, integrando apps de navegação e canais oficiais do município.
  - Incentivos para expansão de GNV em Postos: Redução de taxas ou apoio técnico para postos que implementarem o serviço em regiões prioritárias.
  - Campanhas Educativas para Uso Seguro do GNV: Materiais educativos e parcerias com cooperativas e associações de motoristas sobre riscos, manutenção e prevenção de acidentes.

Essas soluções promovem maior segurança, acessibilidade e uso racional do GNV como combustível de transição urbana.

Transporte Público Inteligente e Sustentável

- **Questão:** O transporte público urbano, em muitos municípios, é ineficiente, caro, poluente e desconectado das reais necessidades da população. Essa realidade reduz sua atratividade e empurra a população para o uso de veículos particulares, o que agrava o trânsito, os custos com combustíveis e a poluição.
- **Soluções Inteligentes e Integradas:**
  - Modernização da frota com combustíveis limpos: substituição progressiva de ônibus e vans por modelos elétricos, híbridos ou a GNV ou biometano, com apoio de dados sobre desempenho e consumo.
  - Telemetria e rastreamento em tempo real: integração com GPS, aplicativos de mobilidade urbana, informação em tempo real para o usuário e gestão inteligente de frotas.
  - Tarifas inteligentes e digitais: pagamento com cartões, QR Codes ou aplicativos, incluindo possibilidade de tarifa flexível por faixa horária, gratuidade para populações vulneráveis ou subsídios para zonas periféricas.
  - Sensoriamento de ocupação: sensores embarcados que informam lotação em tempo real, otimizam alocação de veículos e garantem maior conforto e segurança ao usuário.
  - Integração com micromobilidade: instalação de bicicletários, parcerias com sistemas de bicicletas e patinetes compartilhados, e apoio à mobilidade ativa (a pé).
  - Painéis de gestão de dados: criação de observatórios de mobilidade com dados abertos e decisão baseada em evidências.

- **Impactos esperados:**
  - Redução de emissões;
  - Aumento da eficiência do gasto público com transporte;
  - Ampliação do acesso à cidade;
  - Redução da dependência de combustíveis fósseis e poluentes.

Poluição do Solo por Vazamentos em Postos de Combustíveis

- **Questão:** Postos de gasolina, especialmente os mais antigos ou mal fiscalizados, podem apresentar vazamentos em tanques subterrâneos de diesel e gasolina. Esses vazamentos, muitas vezes invisíveis por anos, contaminam o solo e podem atingir o lençol freático, tornando-se uma fonte perigosa e duradoura de poluição com sérios riscos à saúde pública.
- **Soluções Inteligentes:**
  - Sensores de vazamento e monitoramento remoto em tanques: tecnologias embarcadas alertam automaticamente sobre perdas invisíveis.
  - Sensores geotécnicos no entorno de tanques e bombas: monitoram variações de pressão, umidade e composição química do solo.
  - Plataforma digital municipal de licenciamento e monitoramento ambiental: consolida dados de vistorias, licenças, testes de estanqueidade e histórico de contaminação.
  - Incentivo à substituição de tanques antigos por modelos duplo-contidos: com sensores de detecção integrados.
  - Campanhas educativas e seguro ambiental obrigatório para novos licenciamentos: amplia a prevenção e a responsabilização por danos.
  - Uso de tecnologias de biorremediação com sensores de acompanhamento: para monitoramento da recuperação do solo contaminado.
- **Impactos esperados:**
  - Redução de passivos ambientais urbanos;
  - Proteção de recursos hídricos subterrâneos;
  - Aumento da transparência e do controle ambiental pelo poder público.

Uso de Medidores Inteligentes (Smart Meters) de Gás Natural

- **Questão:** O sistema tradicional de medição de gás natural depende de leitura manual, o que gera erros de faturamento, atrasos, baixa transparência e impossibilidade de detectar vazamentos ou padrões de consumo anormais em tempo real. Além disso, o consumidor não tem como acompanhar seu consumo com precisão, e o município não possui dados agregados para planejar ações de eficiência ou segurança energética.
- **Soluções com Medidores Inteligentes**
  - Leitura remota e em tempo real do consumo de gás: reduz erros, fraudes e elimina a necessidade de leitura manual.
  - Alerta de vazamentos ou consumo anômalo: envio de notificações automáticas ao usuário e à concessionária.
  - Melhoria na transparência e no controle do consumo doméstico: o cidadão pode acompanhar o próprio consumo via aplicativo ou painel online.
  - Permite tarifação horária diferenciada: caso o modelo regulatório permita, o consumidor pode escolher horários de menor tarifa.

- Geração de dados para políticas públicas municipais: os dados agregados (anonimizados) podem embasar planos de eficiência energética, planejamento urbano e projetos sociais.

- **Impactos esperados**
  - Mais confiança do consumidor no sistema de cobrança;
  - Redução de perdas técnicas e comerciais;
  - Planejamento baseado em evidências reais;
  - Engajamento da população no uso eficiente do gás.
- **Como implementar**
  - Diagnosticar a infraestrutura e consumo atual de gás e combustíveis no município;
  - Mapear os pontos de risco, alto consumo e ausência de acesso ao GNV;
  - Criar ou integrar sistemas de dados com medição inteligente e painéis de indicadores;
  - Engajar atores locais (motoristas, comércios, concessionárias) em campanhas educativas;
  - Priorizar pilotos com tecnologias de baixo custo e parceiros locais (universidades, startups);
  - Planejar a expansão por meio de parcerias público-privadas e incentivo regulatórios.

8.5 Considerações sobre a Distribuição e Uso do Gás

O futuro da energia urbana passa pela eficiência, pela segurança e pela transparência. Com o uso inteligente da tecnologia, é possível transformar o uso de gás e combustíveis em uma oportunidade de inovação, redução de custos e melhoria da qualidade de vida urbana.

As soluções aqui apresentadas são apenas o ponto de partida para uma gestão mais conectada à realidade dos municípios e às necessidades da população.

Boas práticas em municípios brasileiros

- Rio de Janeiro/RJ: Mapeamento em tempo real de postos com GNV integrados ao app municipal de mobilidade.
- Curitiba/PR: Frota pública de transporte urbano parcialmente convertida para GNV e veículos elétricos.
- Campinas/SP: Painel público online com histórico de tarifas e consumo energético das Secretarias Municipais.

Normas Técnicas Relevantes:

- ABNT NBR 12236[44] - Instalação de equipamentos para combustíveis gasosos em veículos automotores;
- ABNT NBR 12313[45] - Sistema de combustão - Controle e segurança para utilização de gases combustíveis em processos de baixa e alta temperatura
- ABNT NBR 17505-1[46] - Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1: Disposições gerais
- ABNT NBR 15594[47] - Sistemas de abastecimento de GNV - requisitos de instalação e segurança;
- ABNT NBR 16064[48] - Redes de distribuição para gás combustível;
- Portarias INMETRO[49, 50] sobre oficinas registradas e inspeção periódica de cilindros.

Financiamento e parcerias

- Convênios com concessionárias e distribuidoras regionais;
- Programas da ANP para eficiência e segurança energética;

- FEHIDRO (quando houver relação com sustentabilidade urbana);
- Editais estaduais para tecnologia e mobilidade urbana.

Cuidados em compras públicas:

- Exigir certificações técnicas e conformidade com normas brasileiras;
- Incluir entregas digitais e dados como parte dos contratos (*dashboards*, integração);
- Priorizar soluções interoperáveis e com atualizações.

Referências bibliográficas

1. EUROPEAN TECHNOLOGY AND INNOVATION PLATFORM. **Hydrogenated vegetable oil (HVO)**. [S.l.]: Bioenergy Fact Sheet, 2020. 4 p. Disponível em: https://old.etipbioenergy.eu/images/ETIP_B_Factsheet_HVO_feb2020.pdf. Acesso em: 18 abr. 2025.

2. BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Meta da NDC brasileira para 2035 acelera velocidade de redução de emissões**. Brasília: MCTI, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2024/11/meta-da-ndc-brasileira-para-2035-acelera-velocidade-de-reducao-de-emissoes. Acesso em: 19 abr. 2025.

3. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional 2024**: ano base 2023. Rio de Janeiro: EPE, 2024. 275 p. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-819/topico-723/BEN2024.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

4. MACEDO, R. Nível de emissões de gases de efeito estufa no Brasil cai 12% em 2023. **Portal G1**, 7 nov. 2024. Disponível em: https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2024/11/07/nivel-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-no-brasil-cai-12percent-em-2023.ghtml. Acesso em: 29 abr. 2025.

5. TSAI, D. et al. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil - 1970-2023**. São Paulo: SEEG, 2024. 49 p. Disponível em: https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

6. UDOP. Produção de etanol de milho avança 34% com quebra histórica da cana; entenda prós e contras. **Notícias UDOP**, 26 abr. 2022. Disponível em: https://www.udop.com.br/noticia/2022/04/26/producao-de-etanol-do-milho-avanca-34-com--quebra-historica-da-cana-entenda-pros-e-contras.html. Acesso em: 18 maio 2025.

7. PROPEQ. Etanol de segunda geração: o combustível do futuro? **Mercado**, 23 jul. 2020. Disponível em: https://propeq.com/etanol-de-segunda-geracao/. Acesso em: 18 maio 2025.

8. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Diretoria de Estudos do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis – Ano 2021**. Rio de Janeiro EPE, 2022.

9. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 968, de 30 de abril de 2024. Estabelece as especificações dos óleos diesel destinados a veículos ou equipamentos dotados de motores do ciclo Diesel e as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializam o produto em território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, 1 maio 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais--de-conteudo/publicacoes/cartilhas-e-guias/arq/orientacoes-drenagem-tanques-oleo-diesel-b.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

10. SLADE, Dave. Running on 100% Biodiesel? Yeah, That's Happening. **Trucking Info**, 7 July 2021. Disponível em: https://web.archive.org/web/20210708025316/https://www.truckinginfo.com/10146888/running-on-100-biodiesel-yeah-thats--happening. Acesso em: 18 maio 2025.

11. BIODIESELBR.COM. Afinal, vale a pena usar 100% de biodiesel? **BiodieselBR**, n. 18, 15 ago. 2010. Disponível em: https://www.biodieselbr.com/revista/018/b100-3. Acesso em: 18 maio 2025.

12. FAVARO, S. P; CARDOSO A. N.; SCHULTZ, E. L.; CONCEIÇÃO, L. D. H. C. S; LEAL, W. G. O.; PIGHNELLI, A. L. M. T.; SILVA, B. R.; CRUZ, R. G. S. **Armazenamento e processamento da macaúba - Contribuições para manutenção da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2018.

13. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 842, de 31 de outubro de 2023. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ed. 209, seção 1, p. 51-55, 02 nov. 2023

14. INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Green Hydrogen Cost Reduction**: Scaling up Eletrolysers to Meet the 1.5 oC Climate Goal. Abu Dhabi, IRENA, 2020.

15. CIBIOGÁS. **Panorama do Biogás no Brasil 2021**. Foz do Iguaçu, Paraná, CIBiogás, 2022. 21 p. (Relatório Técnico nº 168 165-205 - 87/89). Disponível em: https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2022/04/NT-PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2021.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

16. ABEGÁS. Gasbrasiliano finaliza obras do projeto cidades sustentáveis na região de presidente prudente (SP). **Notícias**, 15 jul. 2022. Disponível em: https://www.abegas.org.br/arquivos/84384#:~:text=GasBrasiliano%20finaliza%20obras%20do%20projeto%20Cidades%20Sustent%C3%A1veis,as%20obras%20de%20constru%C3%A7%C3%A3o%20da%20rede%20de. Acesso em: 15 abr. 2025.

17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **O potencial brasileiro de biogás**. São Paulo: Abiogás, 2020. 28 p. Disponível em: https://web.archive.org/web/20210725073350/https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2020/11/NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **Biogás no Brasil**: conhecendo o mercado no país. São Paulo: Abiogás, 2021. 1 p. Disponível em: https://web.archive.org/web/20210812003711/https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Infograficos-Abiogas_D_2021-1.pdf. Acesso em: 10 abr. 2025.

19. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. **Mapa do Biogás do Estado de São Paulo**. Disponível em: https://abiogas.org.br/mapa-do-biogas/. Acesso em: 29 abr. 2025.

20. COELHO, S. T.; GARCILASSO, V. P.; FERRAZ JUNIOR, A. D. N.; SANTOS, M. M.; JOPPERT, C. L. **Tecnologias de produção e uso de biogas e biometano**. Parte I: Biogás. Parte II; Biometanto. São Paulo: IEE-USP, 2018. 216p.

21. COELHO, S. T.; GARCILASSO, V. P.; SANTOS, M. M.; ESCOBAR, J. F.; PERECIN, D.; SOUZA, D. B. **Atlas de bioenergia do Estado de São Paulo**. São Paulo: IEE-USP, 2020. 242 p.

22. BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. PROBIOGÁS. **Tecnologias de Digestão Anaeróbia com Relevância para o Brasil – Substratos, Digestores e Uso de Biogás**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015. 87 p. (Coletânea de publicação do Probiogás – Série Desenvolvimento do Mercado de Biogás).

23. FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável. **Guia Técnico Ambiental de Biogás na Agroindústria**. Belo Horizonte: FEAM, 2015.

24. RASTRORURAL. **Biodigestor**: o que é e quando é viável utilizar em fazendas? 2019. Disponível em: https://www.rastrorural.com.br/index.php/tecnologia/item/1363-biodigestor-o-que-e-e-quando-e-viavel-utilizar-em-fazendas. Acesso em: 18 maio 2025.

25. INSTITUTO 17. **Biogás no Brasil**: Potencial Oferta a Curto Prazo. Programa de Energia para o Brasil – BEP (Brasil). São Paulo/SP: Instituto 17, 2021. (Relatório técnico 02-2021).

26. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 8, de 30 de janeiro de 2015. Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 70, 2 fev. 2015.

27. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 685, de 29 de junho de 2017. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 145, 30 jun. 2017.

28. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo. **Expansão da produção de biometano pode gerar 20 mil empregos no Estado de SP, revela estudo**. Destaques, 1º out. 2024. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/2024/10/expansao-da-producao-de-biometano-pode-gerar-20-mil-empregos-no-estado-de--sp-revela-estudo/. Acesso em: 28 abr. 2025.

29. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 807, de 23 de janeiro de 2020. Estabelece as especificações da gasolina automotiva. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ed. 246, seção 1, p. 113-117, 24 jan. 2020.

30. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 907, de 18 de novembro de 2022. Dispõe sobre as especificações do etanol combustível e suas regras de comercialização em todo o território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ed. 220, seção 1, p. 76-81, 23 nov. 2022.

31. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP nº 790, de 10 de junho de 2019. Dispõe sobre o Programa de Monitoramento da Qualidade dos Combustíveis - PMQC e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, ed. 182, seção 1, p. 60-63, 11 jun. 2019.

32. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Programas de Monitoramento**. 14 mar. 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/qualidade-de-produtos/programas-monitoramento. Acesso em: 18 maio 2025.

33. BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Orientações para drenagem de tanques de óleo diesel B em postos revendedores**. [*S.l.*]: ANP, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/cartilhas-e-guias/arq/orientacoes-drenagem-tanques-oleo-diesel-b.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

34. BOSCH. Bosch desenvolve primeiro motor flex a diesel e etanol. **Revista Auto Esporte**, mar. 2025. Disponível em: https://autoesporte.globo.com/setor-automotivo/inovacao-e-tecnologia-em-automoveis/noticia/2025/03. Acesso em: 24 abr. 2025.

35. REVISTA CULTIVAR. Quais são os combustíveis do futuro para máquinas agrícolas. **Revista Cultivar**, jul. 2020. Disponível em: https://revistacultivar.com.br/noticias/quais-sao-os-combustiveis-do-futuro-para-maquinas-agricolas. Acesso em: 24 abr. 2025

36. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. **Subsecretaria de Energia e Mineração**. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/sem/. Acesso em: 29 abr. 2025.

37. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. **Mudanças Climáticas e Sustentabilidade**. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/mudancas-climaticas-e-sustentabilidade/. Acesso em: 29 abr. 2025.

38. SÃO PAULO (Cidade). **Política de Mudança do Clima no Município de São Paulo**: Lei nº 14.933/2009. São Paulo: PMSP, 2009. Disponível em: https://capital.sp.gov.br/web/meio_ambiente/w/comite_do_clima/284394. Acesso em: 24 abr. 2025.

39. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. **Plano de Ação Climática 2050**. São Paulo: SEMIL, [2022?]. Disponível em: https://semil.sp.gov.br. Acesso em: 24 abr. 2025.

40. SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. **Plano Estadual de Energia 2050 – PEE 2050**. Disponível em: https://semil.sp.gov.br/sem/pee-2050/. Acesso em: 18 maio 2025.

41. SÃO PAULO (Estado). Lei nº 14.933, de 5 de junho de 2013. Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, estabelece metas para a redução de emissões de gases de efeito estufa no Estado de São Paulo e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, 6 jun. 2013.

42. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA. **Diesel**: um guia com orientações e recomendações para o bom uso do combustível. São Paulo: AEA, 2019. Disponível em: https://aea.org.br/inicio/wp-content/uploads/2019/10/CartilhaDieselBiodiesel-POR.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

43. CAMARGO, C. A.; RIBEIRO, A. M. M.; SOUZA, M. E. P.; USHIMA, A. H. **Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Álcool**: Manual de Recomendações. São Paulo: IPT, 1990. (Publicação IPT, v.1817)

44. ABNT. **NBR 12236-2:2023**: Postos de abastecimento de GNV e estação de compressão de GNC. Parte 2: Operação, inspeção e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=QWpEOGFZaTRubDUzSndjYIRKbTM4SXFrd053aDR2V25zRnEvN1E2dHVaaz0=. Acesso em: 10 maio 2025.

45. ABNT. **NBR 12313**: Sistema de combustão - Controle e segurança para utilização de gases combustíveis em processos de baixa e alta temperatura. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

46. ABNT. **NBR 17505-1**: Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis - Parte 1: Disposições gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

47. ABNT. **NBR 15594-1:2023**: Posto revendedor de combustível automotive (PRC). Parte 1: Operação e procedimentos de inspeção e manutenção. Rio de Janeiro: ABNT,2023. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=SnVacDIVZ0FkaXpYSlpLRW4wYk5VaHIYVFNvU1dtV2hia0ITbjVuQU5FST0=. Acesso em: 10 maio 2025.

48. ABNT. **NBR 16064-1:2012**: Redes de distribuição para gás combustível - Parte 1: Requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

49. DETRAN. Portaria nº 123, de 16 de março de 2015. Regulamenta as atividades de vistoria e revistoria nas Unidades de Atendimento do Departamento Estadual de Trânsito do Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 17 mar. 2020.

50. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Portaria nº 133, de 23 de março de 2022. Regulamento Técnico da Qualidade e os Requisitos de Avaliação da Conformidade para Requalificação de Cilindros Destinados ao Armazenamento de Gás Natural Veicular. **Diário Oficial da União**, Brasília, 31 mar. 2022.

9 Iluminação Pública

A iluminação pública é um dos elementos mais importantes da infraestrutura urbana, sendo um serviço essencial, cujo objetivo principal é garantir visibilidade, segurança e qualidade de vida à população.

9.1 Composição dos Sistemas

A gestão da qualidade dos serviços de iluminação pública no estado de São Paulo é estruturada por meio de legislações municipais e estaduais que definem competências, responsabilidades e normas técnicas[1]. Este capítulo apresenta uma descrição dessa composição e das responsabilidades dos municípios, com base nas fontes consultadas.

No município de São Paulo (a maior rede do estado), por exemplo, a gestão da iluminação pública é responsabilidade da Coordenadoria de Gestão da Rede Municipal de Iluminação Pública (ILUME), conforme o Decreto nº 60.061, de 3 de fevereiro de 2021[2]. As principais atribuições incluem:

- Gestão estratégica e coordenação das atividades relativas ao planejamento, programação e fiscalização da ampliação, remodelação, manutenção e conservação da rede de iluminação pública;
- Estabelecimento de diretrizes, especificações técnicas e controle de qualidade dos materiais utilizados no sistema de iluminação pública municipal;
- Elaboração de normas, procedimentos e suporte técnico aos órgãos da Administração Pública Municipal relacionados à iluminação pública, respeitando-se sempre as prescrições da Norma ABNT NBR 5101: 2024[3].

Além disso, a SP Regula (SP Regula, 2025), Agência Reguladora de Serviços Públicos do Município de São Paulo, é responsável pela regulação e fiscalização dos serviços de iluminação pública, conforme a Resolução nº 7 [20, 21]. Suas competências incluem:

- Cumprir e fazer cumprir as normas relativas aos serviços públicos no âmbito de atuação da SP Regula;
- Exercer atividades de gestão e fiscalização de contratos ou outros instrumentos de delegação do serviço público de iluminação pública;
- Implementar e acompanhar a aplicação de instrumentos e métodos de regulação e fiscalização do serviço de iluminação pública delegado.

Nos demais municípios do estado, a responsabilidade pela iluminação pública é atribuída aos próprios municípios, conforme os artigos 30 e 149-A da Constituição Federal. A Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo[4] atua na regulação dos serviços de distribuição de energia elétrica, incluindo a iluminação pública, estabelecendo obrigações das distribuidoras e direitos e deveres dos municípios enquanto usuários do serviço público de distribuição, exercendo o papel da Aneel no estado de SP[5].

As responsabilidades dos municípios na gestão da iluminação pública incluem[6]:

- **Planejamento e Implantação**: Elaboração de projetos de iluminação pública, incluindo sua sinergia com projetos de sinalização viária e a expansão e modernização da rede.
- **Operação e Manutenção**: Execução de serviços de operação e manutenção da rede de iluminação pública, garantindo a eficiência e a qualidade do serviço prestado.
- **Regulação e Fiscalização**: Estabelecimento de normas e procedimentos para a prestação dos serviços, bem como fiscalização do cumprimento das obrigações contratuais e normativas.
- **Cadastro e Monitoramento**: Manutenção de cadastro atualizado dos pontos de iluminação pública, com informações georreferenciadas e registro fotográfico.
- **Avaliação da Qualidade**: Monitoramento dos índices de falhas no sistema de iluminação pública, como lâmpadas apagadas, acesas durante o dia, luminárias sujas ou danificadas, e adoção de medidas corretivas quando necessário.

9.2 Iluminação Pública e Sinalização Viária

A sinergia entre o serviço de iluminação pública e a sinalização viária é fundamental para a segurança de todos os usuários das vias urbanas e rodoviárias — condutores de veículos, pedestres e ciclistas. Ambos os sistemas, quando integrados de forma planejada, potencializam a visibilidade, a compreensão das normas de trânsito e a prevenção de acidentes, especialmente durante o período noturno. Seguem algumas vantagens desta sinergia[7,8].

Melhoria da Visibilidade e Percepção dos Sinais de Trânsito

A iluminação pública adequada facilita a visualização das sinalizações viárias, como placas, faixas de pedestres e semáforos, permitindo que condutores, pedestres e ciclistas identifiquem e compreendam as orientações com clareza, mesmo em condições de baixa luminosidade. Isso é essencial para a tomada de decisões rápidas e seguras no trânsito[9,10].

Redução de Acidentes Noturnos

A falta de iluminação é um dos principais fatores de risco para colisões e atropelamentos. Em ambientes com baixa luminosidade, os motoristas têm dificuldade em identificar obstáculos, curvas perigosas e pedestres cruzando a via. Dessa maneira, a iluminação pública não apenas melhora a visibilidade, mas também aumenta a previsibilidade do trânsito, tornando as vias mais seguras para todos os usuários[11].

Segurança de Usuários Vulneráveis

Pedestres e ciclistas são mais vulneráveis a acidentes, especialmente em vias mal iluminadas. A iluminação direcionada para faixas de pedestres e ciclovias aumenta a visibilidade desses usuários, reduzindo o risco de atropelamentos e promovendo uma travessia mais segura. Exemplos disso são as iniciativas em cidades como Santos e Belém, que implementaram sinalizações iluminadas para melhorar a segurança dos pedestres[12].

Integração de Tecnologias para Eficiência Operacional

A utilização de tecnologias como lâmpadas LED e sensores de presença permite que a iluminação pública seja acionada automaticamente em condições de pouca luz, garantindo que as sinalizações estejam sempre visíveis quando necessário. Além disso, a integração de sistemas de iluminação com sinalização inteligente pode otimizar o fluxo de tráfego e aumentar a segurança viária [13].

A integração eficaz entre iluminação pública e sinalização viária é essencial para criar um ambiente de trânsito mais seguro e eficiente para todos os usuários. Investimentos nessas áreas são fundamentais para a redução de acidentes e promoção da mobilidade urbana sustentável.

9.3 Desafios nos Serviços de Iluminação

Os municípios do estado de São Paulo enfrentam diversos desafios na gestão da qualidade dos serviços de iluminação pública, que envolvem questões técnicas, financeiras e operacionais. A seguir, apresentamos uma análise desses desafios, com base em fontes atualizadas e relevantes.

Infraestrutura Deficiente e Necessidade de Modernização

Muitos municípios ainda utilizam postes de madeira e lâmpadas antiquadas, que não oferecem a eficiência necessária. A transição para tecnologias mais modernas, como lâmpadas LED, é uma solução que algumas cidades já adotaram, mas ainda há um longo caminho a percorrer.

Orçamento Limitado e Custos Operacionais Elevados

A iluminação pública representa uma parcela significativa do orçamento municipal, com custos de operação e manutenção elevados. A implementação de melhorias e a modernização do sistema exigem investimentos substanciais, que nem sempre estão disponíveis nos cofres municipais.

Falta de Dados e Gestão de Ativos

A ausência de um cadastro atualizado e padronizado dos ativos de iluminação pública dificulta a gestão eficiente do sistema. Muitos municípios carecem de informações precisas sobre a quantidade e o estado de conservação das lâmpadas e postes, o que compromete a tomada de decisões e a priorização de investimentos.

Capacidade Técnica Limitada

A gestão da iluminação pública exige conhecimentos especializados em áreas como engenharia elétrica, gestão de ativos e tecnologias emergentes. Muitos municípios enfrentam dificuldades em recrutar e reter profissionais qualificados, o que impacta negativamente na qualidade dos serviços prestados.

Desafios Regulatórios e Contratuais

A Resolução Normativa nº 414 da ANEEL[14], que *Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica*, transferiu a responsabilidade pela iluminação pública para os municípios, impondo-lhes a gestão direta ou a contratação de terceiros para a prestação dos serviços. Essa mudança trouxe desafios relacionados à adaptação dos contratos, à regulamentação dos serviços e à definição clara das responsabilidades entre os entes envolvidos.

Engajamento Comunitário Insuficiente

A falta de engajamento da comunidade nas decisões sobre iluminação pública também representa um desafio. Muitas vezes, as prefeituras implementam melhorias sem consultar os cidadãos, que são os principais beneficiários dessas ações. Um diálogo aberto entre a administração municipal e a população pode garantir que as soluções atendam às reais necessidades da comunidade.

9.4 Sistemas Inteligentes Aplicáveis

A gestão da qualidade dos serviços de iluminação pública municipal tem se beneficiado da implementação de sistemas inteligentes que integram tecnologias avançadas para otimizar operações, reduzir custos e melhorar a eficiência energética. Esses sistemas são fundamentais para transformar cidades em ambientes urbanos inteligentes e sustentáveis. A seguir, descrevemos exemplos de Sistemas Inteligentes Aplicáveis à Gestão da Qualidade de Serviços de Iluminação Pública Municipal.

Sistemas de telegestão e internet das coisas (iot)

A telegestão utiliza dispositivos conectados para monitorar e controlar remotamente a iluminação pública. Cada luminária equipada com sensores permite [22]:

- Controle remoto de acendimento e intensidade luminosa;
- Detecção de falhas e previsão de manutenções;
- Medição de parâmetros elétricos, como tensão e corrente;
- Integração com outros sistemas urbanos inteligentes, como semáforos e sensores de estacionamento.

Essa abordagem contribui para a redução do consumo de energia e melhora a gestão dos ativos urbanos.

Sistemas de Gestão de Ativos e Ordens de Serviço

Sistemas comerciais já oferecem funcionalidades para:

- Cadastro georreferenciado dos pontos de iluminação pública;
- Emissão e acompanhamento de ordens de serviço em tempo real;
- Controle de estoque e gestão de materiais;
- Geração de relatórios analíticos sobre desempenho e produtividade.

Essas ferramentas permitem uma gestão mais eficiente e transparente dos serviços de iluminação pública.

Sistemas de atendimento ao cidadão e comunicação multicanal

Plataformas comerciais já oferecem canais de comunicação diretos com os cidadãos, incluindo:

- Aplicativos móveis e portais web para solicitação de reparos;
- Atendimento via WhatsApp, chat online e call center;
- Integração com sistemas municipais para centralizar as demandas.

Essa abordagem melhora a interação com a população e agiliza o processo de resolução de problemas.

Sistemas de monitoramento e análise de dados

Soluções comerciais já utilizam geoprocessamento para:

- Mapear e monitorar a infraestrutura de iluminação pública;
- Gerenciar ordens de serviço e controlar frotas e almoxarifados;
- Analisar dados para otimizar operações e reduzir custos.

Esses sistemas fornecem informações valiosas para a tomada de decisões estratégicas.

A adoção desses sistemas inteligentes permite aos municípios não apenas melhorar a qualidade dos serviços de iluminação pública, mas também contribuir para o desenvolvimento de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

Essas plataformas oferecem recursos e funcionalidades adicionais, especialmente ao utilizar sensores IoT avançados, infraestrutura de alta tecnologia e softwares de aplicação robustos, tais como os citados a seguir:

- Seleção de modos de operação de controle e configuração de operações para postes de rua;
- Implementação de monitoramento e controle abrangentes de iluminação: Isso inclui programação para ligar/desligar luzes, recursos de dimerização e notificações de falta de energia;

- Detecção de condições anormais e geração de alarmes;
- Utilização de diagnósticos preditivos para analisar condições incomuns, detectar defeitos funcionais, identificar lâmpadas com defeito e programar manutenção preventiva;
- Desenvolvimento de interfaces para aplicativos web e móveis com painéis de usuário exibindo consumo de energia, economia de energia, diagnósticos, dados de monitoramento, dados de falhas, estatísticas ambientais e muito mais;
- Análise de dados e geração de relatórios de uso para avaliação do consumo de energia: Isso inclui insights sobre o consumo atual ou médio de energia, pico de consumo de energia, economia de energia, volume e classificação de tráfego, informações meteorológicas e quaisquer alarmes adicionais;
- Interação com múltiplos "*endpoints*"" da unidade de monitoramento em toda a cidade inteligente, abrangendo iluminação pública, iluminação de estacionamento, iluminação de jardim, iluminação de solo e semáforos;
- Condução de análises abrangentes de dados armazenados nos ""*endpoints*"" da unidade de monitoramento;
- Criptografar e armazenar dados de vários *"endpoints"* com segurança;
- Incentivar a adoção de energia renovável, promover a adoção de fontes de energia verde, otimizar custos, visar economia geral;
- Gerenciar contas de usuários;
- Verificar usuários com base nas políticas da unidade de monitoramento;
- Aumentar a sensação de segurança para moradores e visitantes em cidades inteligentes.

9.5 Tendências em Iluminação Pública

A gestão da qualidade dos serviços de iluminação pública está cada vez mais alinhada ao uso da inteligência e aos princípios da sustentabilidade urbana, refletindo uma transformação nas práticas de planejamento e operação das cidades[15]. A seguir, destacam-se as principais tendências nesse campo, com base em fontes atualizadas[16].

Transição para luminárias led e fontes renováveis

A substituição das lâmpadas tradicionais por LEDs representa um avanço significativo na eficiência energética. Essas luminárias consomem até 70% menos energia e possuem vida útil mais longa, reduzindo a necessidade de substituições frequentes[17,18]. Além disso, a integração com fontes de energia renovável, como a solar, tem sido adotada para alimentar a iluminação pública, promovendo a autossuficiência energética e a redução das emissões de carbono[19].

Implementação de sistemas inteligentes de telegestão e IoT

O uso de sensores inteligentes e a conectividade por meio da Internet das Coisas (IoT) permitem o controle remoto e a automação da iluminação pública. Esses sistemas ajustam a intensidade luminosa conforme a presença de pessoas ou veículos, otimizando o consumo de energia e melhorando a segurança urbana. Além disso, possibilitam a detecção precoce de falhas e a manutenção preditiva, aumentando a eficiência operacional.

Desenvolvimento de infraestruturas multifuncionais

A tendência é integrar a iluminação pública a outras funções urbanas, como pontos de carregamento para veículos elétricos, monitoramento ambiental e conectividade Wi-Fi. Essa abordagem transforma os postes de iluminação em plataformas multifuncionais, contribuindo para a criação de cidades mais inteligentes e sustentáveis.

Promoção da participação cidadã e transparência

A gestão participativa tem se tornado uma prioridade, com o objetivo de envolver a comunidade nas decisões relacionadas à iluminação pública. Plataformas digitais e aplicativos móveis têm sido utilizados para coletar feedback dos cidadãos, reportar problemas e sugerir melhorias, promovendo maior transparência e alinhamento com as necessidades da população.

Essas tendências indicam um movimento em direção a uma iluminação pública mais eficiente, integrada e sustentável, alinhada aos objetivos de desenvolvimento urbano sustentável e à criação de cidades mais inteligentes e resilientes.

No futuro, esses serviços estão posicionados para emergir como uma tendência notável e podem incluir outras funcionalidades como as descritas a seguir:

- Estacionamento inteligente, utilizando supervisão em tempo real para monitorar o status de ocupação do estacionamento (disponível/ocupado);
- Gestão de resíduos, implementando sensores para detectar níveis de lixo em recipientes, otimizando vias e horários de coleta de lixo;
- Saúde estrutural, utilizando sensores para monitorar informações materiais em residências e marcos históricos;
- Qualidade do ar, empregando sistemas de supervisão para monitorar os níveis de poluição do ar;
- Tráfego de veículos, implementando sistemas para detectar congestionamentos e sugerir outras rotas através dos sinais de mensagem;
- Incorporação de medidas de segurança cibernética na arquitetura das futuras infraestruturas de iluminação pública inteligente;
- Utilização de métodos de inteligência artificial para prever o fluxo de tráfego e aliviar a carga sobre as infraestruturas de iluminação pública inteligente.
- Utilização de postes inteligentes para oferecer estações de recarga para veículos elétricos plug-in;
- Exame da confiabilidade dos sensores e da segurança dos dispositivos físicos para otimizar o consumo de energia e reduzir custos;
- Aprimoramento dos recursos de segurança, por exemplo, programação de postes de iluminação inteligentes para controlar os níveis de iluminação automaticamente usando dados em tempo real, melhorando assim a segurança nas ruas e reduzindo os riscos de acidentes;
- Integração com o sistema de gerenciamento de tráfego, por exemplo, postes de iluminação inteligentes podem contribuir para o gerenciamento do fluxo de tráfego e o alívio da superlotação em tempo real;
- Promoção da sustentabilidade ecológica, por exemplo, alimentação de postes inteligentes com fontes de energia verde, incluindo energia eólica ou solar, para reduzir a pegada de carbono das infraestruturas de iluminação pública.

Referências Bibliográficas

1. CAMPANHER DUTRA, Joísa; PINHEIRO SAMPAIO, Patrícia Regina; AMORIM, Lívia Medeiros. Aspectos regulatórios e desafios da iluminação pública: controvérsias e desenvolvimentos recentes. Direito. UnB - **Revista de Direito da Universidade de Brasília**, v. 11, n. 2, p. 1-22, 2016. Disponível em: https://periodicos.unb.br/index.php/revistadedireitounb/article/view/24496. Acesso em: 24 abr. 2025.

2. SÃO PAULO (Cidade). Decreto nº °60.061, de 3 março 2021. Dispõe sobre a reorganização da Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento e altera a denominação e a lotação dos cargos de provimento em comissão que especifica. **Diário Oficial do Município**, São Paulo, 04 fev. 2021. Disponível em: https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto--60061-de-3-de-fevereiro-de-2021. Acesso 10.05.2025

3. ABNT. **NBR 5101: 2024**. Versão corrigida 2:2024. Iluminação viária –Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT,2024. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=Z01ZUmVrdk5Rc0VTOUVISEIxZ0dCZG1QK1BJbTN0dE5iKzN6MVR-0Wi94TT0=. Acesso 10.05.2025

4. ASSOCIAÇÃO REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO – ARSESP. **Espaço dos municípios**: energia elétrica. Disponível em: https://www.arsesp.sp.gov.br/paginas/espaco-dos-municipios-energia-eletrica.aspx. Acesso em: 24 abr. 2025.

5. BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa nº 935/2021, de 21 de dezembro de 2021. Estabelece as obrigações das distribuidoras de energia elétrica e os direitos e deveres dos municípios enquanto usuários do serviço público de distribuição. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 23 dez. 2021.

6. PEREIRA, Marisete Fátima Dadald et al. Informe Técnico Iniciativas nas cidades para o uso inteligente da energia, Série: "O papel das cidades no uso da energia", GOVERNO FEDERAL MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA MME, 2022, Brasilia-DF.

7. DER. **Manual de Segurança Viária**. São Paulo: DER/SP, 2023. Disponível em: https://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/ebook_sv/index.html. Acesso em: 25 abr. 2025. (Page 374 - Manual_de_Seguranca_Viaria)

8. BRASIL. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Código de Trânsito Brasileiro. (Art. 81). **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 set. 1997. Acesso em: 25 abr. 2025. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm. Acesso em: 25 abr. 2025.

9. MOBILIDADE SAMPA. **Melhorando a segurança dos pedestres**: iluminação específica é implementada em faixas de travessia em Santos. 2023. Disponível em: https://mobilidadesampa.com.br/2023/06/melhorando-a-seguranca-dos-pedestres-iluminacao-especifica-e-implementada-em-faixas-de-travessia-em-santos/. Acesso em: 25 abr. 2025.

10. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos Não Transmissíveis e Promoção da Saúde. **Viva**: Vigilância de Violências e Acidentes: 2013 e 2014. Brasília: Ministério da Saúde, 2017. 218 p. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/viva_vigilancia_violencia_acidentes_2013_2014.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.

11. OBSERVATÓRIO NACIONAL DE SEGURANÇA VIÁRIA. **Iluminação pública contribui para o trânsito seguro**. 18 jul. 2024. Disponível em: https://www.onsv.org.br/comunicacao/materias/iluminacao-publica-contribui-para-o-transito-seguro. Acesso em: 25 abr. 2025.

12. QLUZ PALHOÇA. **Os desafios da eficiência energética na iluminação pública**. Disponível em: https://www.qluzpalhoca.com.br/os-desafios-da-eficiencia-energetica-na-iluminacao-publica/. Acesso em: 24 abr. 2025.

13. VERSA ENGENHARIA. **Iluminação pública**: qualidade de vida para os motoristas. 20 fev. 2024. Disponível em: https://www.versaeng.com.br/iluminacao-publica-qualidade-de-vida-para-os-motoristas/. Acesso em: 25 abr. 2025

14. Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414**, de 9.09.2010. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.html. Acesso em 10.05.2025.

15. IP MINAS. Tendências para iluminação pública: descubra o futuro luminoso das cidades. **Notícias**, 8 mar. 2023. Disponível em: https://www.ipminas.com.br/tendencias-para-iluminacao-publica/. Acesso em: 24 abr. 2025.

16. QLUZ PALHOÇA. **Segurança no trânsito: a importância da iluminação pública nas vias e estradas**. Disponível em: https://www.qluzpalhoca.com.br/qual-a-importancia-da-iluminacao-publica-para-a-seguranca-no-transito/.

17. ECHAVERRÍA, Carlos; PESSANHA, José Francisco; WEISS, Mariana; HALLACK, Michelle Carvalho. **Avaliação do potencial de eficiência energética na iluminação pública nos municípios paulistas**. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2023. Disponível em: https://publications.iadb.org/pt/avaliacao-do-potencial-de-eficiencia-energetica-na-iluminacao-publica-nos-municipios-paulistas. Acesso em: 24 abr. 2025.

18. ENEL X. Iluminação pública com luminárias de LED reduz custos e elimina emissão de CO_2. **Conteúdo**, 14 maio 2021. Disponível em: https://www.enelx.com/br/pt/conteudos/iluminacao-publica-com-luminarias-de-led-reduz-custos-e-elimina-. Acesso em: 24 abr. 2025.

19. CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE), **Prospecção tecnológica no setor de energia elétrica**: Evolução tecnológica nacional no segmento de eficiência energética. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2017. v.6.

20. SÃO PAULO (Cidade). Resolução SP Regula nº 7, de 24 de junho de 2022. Especifica a estrutura e as atribuições da Gerência de Iluminação Pública da SP Regula. **Diário Oficial do Município**, São Paulo, 25 jun. 2022. Disponível em: https://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/resolucao-agencia-reguladora-de-servicos-publicos-do-municipio-de-sao-paulo-sp-regula-7-de--24-de-junho-de-2022. Acesso em: 24 abr. 2025.

21. SP REGULA. **Atribuições da Iluminação Pública**. Disponível em: https://www.capital.sp.gov.br/web/spregula/w/iluminacao_publica/missao/4263. Acesso em: 24 abr. 2025.

22. KHEMAKHEM, Siwar; KRICHEN, Lotfi. A comprehensive survey on an IoT-based smart public street lighting system application for smart cities. **Franklin Open**, p. 100142, 2024.

10 Serviços de saúde

Os serviços de saúde estão diretamente ligados ao bem-estar das pessoas e ao desenvolvimento da sociedade. Eles promovem qualidade de vida e contribuem para o progresso social e econômico. Os serviços de saúde desempenham papel essencial nos municípios.

10.1 Descrição do Setor

A Constituição Federal do Brasil, especialmente no artigo 30, que atribui aos municípios a responsabilidade por cuidar da saúde, além de legislações complementares como a Lei nº 8.080/1990, que dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, e a Lei nº 8.142/1990, que trata do financiamento e do controle social do Sistema Único de Saúde (SUS).

Essas leis estabelecem as competências municipais na gestão dos serviços de saúde, incluindo uma série de serviços essenciais para garantir o bem-estar da população nesse setor. Entre eles, estão os apresentados a seguir.

- **Atenção básica à saúde**

  Incluindo unidades de saúde como postos de saúde, centros de saúde e equipes de saúde da família, que realizam ações de prevenção, promoção, diagnóstico e tratamento de doenças comuns.

- **Programas de vacinação**

  Disponibilização de vacinas para prevenir doenças imunopreveníveis, como a gripe, sarampo, poliomielite, entre outras.

- **Atendimento de urgência e emergência**

  Hospitais municipais, ambulâncias e serviços de atendimento móvel de urgência (SAMU).

- **Controle de doenças transmissíveis**

  Ações de vigilância epidemiológica, controle de vetores, combate a epidemias e campanhas de conscientização.

- **Serviços de saúde mental**

  Centros de atenção psicossocial (CAPS) e outros serviços de apoio psicológico.

- **Promoção da saúde e educação em saúde**

  Campanhas educativas, orientações sobre hábitos saudáveis, higiene, alimentação, entre outros.

- **Gestão de medicamentos e insumos**

  Fornecimento de medicamentos básicos e materiais hospitalares necessários para o atendimento à população.

- **Vigilância sanitária local**

  Fiscalização de estabelecimentos de saúde, alimentos, medicamentos e produtos de interesse à saúde pública.

Esses serviços são essenciais para garantir o acesso à saúde de qualidade para todos os cidadãos que fazem parte das atribuições do município, conforme previsto na legislação brasileira, pautada na Constituição Federal do Brasil, especialmente no artigo 30, que atribui aos municípios a responsabilidade por cuidar da saúde, além de legislações complementares como a Lei nº 8.080/1990[1], que dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, e a Lei nº 8.142/1990[2], que trata do financiamento e do controle social do Sistema Único de Saúde (SUS). Essas leis estabelecem as competências municipais na gestão dos serviços de saúde, incluindo atenção básica, vigilância sanitária, campanhas de vacinação, entre outros.

O sistema de saúde do Estado de São Paulo é organizado principalmente pelo **Sistema Único de Saúde (SUS)**, que garante o acesso universal, gratuito e integral à saúde para toda a população. No estado, essa estrutura é gerenciada pela **Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo**, que coordena e regula os serviços de saúde públicos.

O Sistema SUS tem buscado digitalização dos processos de saúde por meio do SUS Digital, que teve uma redefinição na PORTARIA GM/MS Nº 3.232, DE 1º DE MARÇO DE 2024 incluindo aspectos não apenas de registros, mas também potencializado as soluções digitais em saúde em amplo aspecto. Para potencialização da implantação do programa foi elaborado no manual de orientação para ingresso no SUS Digital detalhando as etapas principalmente para as diversas camadas executivas do governo[3, 4].

Alguns pontos importantes do sistema paulista são os a seguir citados.

- **Rede de Serviços**

  Inclui hospitais estaduais, unidades básicas de saúde, centros de especialidades, unidades de pronto atendimento (UPAs) e hospitais de alta complexidade. Essas unidades oferecem desde atenção primária até tratamentos especializados e cirurgias complexas.

- **Atenção Primária**

  As Unidades Básicas de Saúde (UBS) atuam como porta de entrada do sistema, realizando ações de prevenção, promoção da saúde, vacinação, acompanhamento de doenças crônicas e atendimentos gerais.

- **Atenção Especializada**

  Hospitais e centros especializados oferecem tratamentos mais complexos, como cirurgias, exames de alta tecnologia, tratamentos de doenças crônicas e assistência a pacientes com condições específicas.

- **Programas de Saúde Pública**

  São desenvolvidos para campanhas de vacinação, controle de doenças transmissíveis, saúde da mulher, saúde do homem, saúde mental, entre outros.

- **Gestão e Financiamento**

  O sistema é financiado pelo governo estadual, com recursos provenientes de impostos, e conta com parcerias com municípios e o setor privado para ampliar a cobertura e a eficiência dos serviços.

- **Tecnologia e Inovação**

  O Estado de São Paulo tem investido em sistemas de informação, telemedicina[13] e registros eletrônicos para melhorar o gerenciamento, o acompanhamento dos pacientes e a integração dos serviços.

O sistema público de saúde do Estado de São Paulo busca oferecer uma rede integrada de cuidados, desde a atenção básica até os serviços de alta complexidade, garantindo o direito à saúde de toda a população paulista.

10.2 Desafios do Setor de Eletromédicos

Em particular, há necessidades do setor público de saúde no Estado de São Paulo em relação aos equipamentos[6,8] eletromédicos. Essas necessidades envolvem diversos aspectos importantes para garantir a eficiência, segurança e qualidade dos serviços de saúde oferecidos à população. A seguir são citados os principais pontos relacionados à especificação, compra, uso e manutenção de equipamentos eletromédicos no setor público do Estado de São Paulo.

Especificação Adequada

- **Padronização e Normas Técnicas**

  É fundamental que os equipamentos atendam às normas nacionais e internacionais de segurança, qualidade e compatibilidade, entre outras, voltadas às acreditações de selos de qualidade, como Anvisa [1] e do Inmetro [2].

- **Adequação às Necessidades Locais**

  Os equipamentos devem ser escolhidos de acordo com a demanda de cada unidade de saúde, considerando o perfil epidemiológico, o volume de atendimentos e a especialidade médica.

- **Tecnologia Atualizada**

  Priorizar equipamentos com tecnologia moderna, que ofereçam maior precisão, segurança e eficiência no diagnóstico e tratamento.

Processo de Compra[7]

- **Licitações Transparentes**

  Realizar processos de aquisição por meio de licitações públicas, garantindo transparência, competitividade e melhores preços.

- **Avaliação Técnica**

  Seleção baseada em critérios técnicos, de desempenho, durabilidade e suporte técnico oferecido pelos fornecedores.

- **Compra Conjunta**

  Sempre que possível, realizar compras [7] integradas entre diferentes unidades ou regiões para obter melhores condições comerciais.

Uso e Operação

- **Capacitações de Profissionais**

  Investindo na formação e atualização contínua dos profissionais de saúde e técnicos que operam os equipamentos [6,8], garantindo a especificidade assertiva através do uso correto e seguro.

- **Protocolos de Uso**

  Estabelecer procedimentos padrão para operação, calibração e controle de qualidade dos equipamentos.

Manutenção e Suporte técnico

- **Manutenção Preventiva e Corretiva**

  Implementar planos de manutenção regular para evitar falhas, prolongar a vida útil dos equipamentos e garantir sua disponibilidade.

- **Assistência Técnica Especializada**

  Contratar ou treinar equipes técnicas qualificadas para suporte, calibração e reparos.

- **Atualizações e Refrigeração tecnológica**

  Planejar a substituição ou atualização periódica dos equipamentos para acompanhar avanços tecnológicos e evitar obsolescência.

Desafios Específicos

- **Orçamento Limitado**

  Necessidade de otimizar recursos e buscar soluções custo-benefício.

- **Infraestrutura**

  Garantir que as unidades tenham infraestrutura adequada para instalação, energia elétrica estável e ambiente controlado.

- **Segurança e Conformidade**

  Manter a conformidade com legislações e normas de segurança, além de garantir a proteção de dados e privacidade dos pacientes.

O setor público de saúde do Estado de São Paulo deve buscar uma gestão eficiente na especificação, aquisição, uso e manutenção de equipamentos eletromédicos, sempre buscando a segurança, qualidade e sustentabilidade dos serviços prestados à população.

10.3 Desafios para os Municípios

Os municípios de São Paulo enfrentam diversos obstáculos ao tentar implementar e aprimorar sistemas de informação em saúde pública, telemedicina e registros eletrônicos. A seguir estão alguns dos principais desafios.

- **Recursos Financeiros Limitados**

  Muitos municípios possuem orçamentos restritos, dificultando o investimento em tecnologia, infraestrutura e capacitação de profissionais para manter esses sistemas atualizados e eficientes.

- **Infraestrutura Tecnológica**

  A falta de uma infraestrutura adequada, como conexão de internet de alta velocidade, equipamentos modernos e centros de dados seguros, pode comprometer a implementação e o funcionamento contínuo dessas plataformas.

- **Capacitação de Profissionais**

  É necessário treinar os profissionais de saúde para utilizarem corretamente as novas tecnologias. A falta de formação específica pode gerar resistência ou uso inadequado dos sistemas.

- **Integração entre Sistemas**

  Muitas vezes, diferentes sistemas utilizados por diversos setores ou níveis de atenção não se comunicam bem, dificultando a troca de informações e a continuidade do cuidado ao paciente.

- **Segurança e Privacidade dos Dados**

  Garantir a proteção das informações pessoais e de saúde dos pacientes é fundamental, mas ainda há desafios na implementação de medidas de segurança eficazes e na conformidade com legislações de privacidade.

- **Resistência Cultural e Organizacional**

  Mudanças na rotina de trabalho e na cultura organizacional podem gerar resistência por parte de profissionais e gestores, dificultando a adoção plena dessas tecnologias.

- **Manutenção e Atualização**

  Sistemas de informação precisam de manutenção constante, atualizações e suporte técnico, o que demanda recursos contínuos e planejamento adequado.

- **Burocracia e Falta de Continuidade Administrativa**

  Mudanças frequentes de gestão e prioridades políticas locais, gerando interrupções em projetos de informatização e descarte de sistema em funcionamento.

- **Fragmentação de Sistemas**

  Sistema de informação heterogêneo entre municípios, ou até mesmo municipal de saúde, tende a dificultar o acompanhamento integral do paciente, uma vez que, dificulta a interoperabilidade entre as unidades.

Apesar desses desafios, os municípios paulistas buscam soluções inovadoras e parcerias para superar essas dificuldades, promovendo uma gestão mais eficiente e um melhor cuidado à população.

10.4 Sistemas Inteligentes na Saúde Pública

Os sistemas inteligentes aplicados na área da saúde ajudam a tornar os serviços mais eficientes, acessíveis e integrados. A seguir alguns exemplos de Sistemas de Cidades Inteligentes que podem ser aplicados na área de saúde em serviços públicos municipais.

- **Monitoramento em Tempo Real de Unidades de Saúde**

  Sistemas que acompanham o funcionamento de postos de saúde, hospitais e unidades de emergência, permitindo que a gestão identifique rapidamente problemas, otimize recursos e melhore o atendimento à população.

- **Agendamento e Teleatendimento:**

  Plataformas digitais que possibilitam agendar consultas, exames e até realizar teleconsultas, facilitando o acesso dos cidadãos aos serviços de saúde sem precisar sair de casa ou exames especializados sem sair de sua cidade. Os processos de teleatendimento estão muito relacionados com a telemedicina.

  Um exemplo de aplicação que está em operação desde 2008 é a realização de Tele-ECG [17], nesse projeto os eletrocardiogramas são realizados a distância pelo corpo clínico do Instituto Dante Pazzanese em unidades de saúde em municípios no interior do estado de São Paulo ou locais afastados com o auxílio da estrutura médica local, geralmente mais generalista, e com os equipamentos eletromédicos adequados para esse fim desenvolvidos pela Fundação Adib Jatene [18].

  Outras iniciativas em telemedicina além do tele-ECG [17] incluem exames dermatológicos com base em fotos e foram realizadas em Belém no estado do Pará [5].

- **Análise de Dados para Planejamento de Saúde**

  Uso de big data e inteligência artificial para analisar padrões de doenças, identificar áreas com maior incidência de certas enfermidades e planejar ações preventivas mais eficazes.

- **Sistemas de Gestão de Estoques de Medicamentos**

  Plataformas que controlam o estoque de medicamentos e insumos hospitalares, evitando faltas ou excessos, garantindo que os recursos estejam disponíveis quando necessários.

- **Aplicativos de Educação em Saúde**

  Aplicativos que oferecem informações, dicas de prevenção, campanhas de vacinação e orientações sobre hábitos saudáveis, promovendo a conscientização da população.

- **Sensores e IoT em Ambientes de Saúde**

  Uso de sensores para monitorar condições ambientais em hospitais, como temperatura e umidade, garantindo ambientes mais seguros e adequados para pacientes e profissionais.

- **Mapeamento de Demanda por Serviços de Saúde**

  Sistemas que identificam as áreas com maior demanda por determinados serviços, ajudando a distribuir melhor os recursos e ampliar a cobertura de saúde.

- **Inclusão de *Blockchain* para Maior Integridade de Dados**

  Conforme descrito pela MV Saúde Digital [9], a Tecnologia Blockchain baseia-se em uma estrutura de dados conhecida como "cadeia de blocos," onde somente pessoas autorizadas tem direito de inserir, modificar ou visualizar informações em transações efetuadas em blockchain. Diante do exposto, no setor saúde, tem sido uma forte aliada, uma vez que, por meio dela é possível promover sistemas de prontuários médicos e carteiras digitais de saúde com maior nível de segurança para acesso e compartilhamento de dados.

- **Utilização de Aplicativos para Monitoramento Remoto dos Pacientes**

  Segundo dados da SciELO Brasil [10] e da Afya ICLINIC [11], o desenvolvimento de tecnologias e a escalada dos custos em saúde tem fomentado uma nova área de fronteira, a saúde eletrônica (eHealth)[5]. A relevância do tema acabou por conduzir a Organização Mundial de Saúde (OMS) a criar um Observatório Mundial de Saúde Eletrônica, e promover a questão ao nível de estratégia de ação para os próximos anos, visto que, estima-se que tecnologias móveis possam reduzir em até 30% o custo de assistência à saúde, oferecendo benefícios como, monitoramento em tempo real da saúde e do bem-estar do paciente, bem como, possibilitando, por exemplo, o monitoramento remoto de doenças crônicas.

- **Parcerias Público-Privadas (PPPs) para Inovação**

  Segundo o Portal de Notícias da Indústria, IPESI Digital [12], devido à alta demanda por investimento pesado voltado ao Projeto "Cidades Inteligentes" e, considerando o orçamento limitado dos municípios, a PPP surge como uma solução, uma vez que, o setor privado encarrega-se de investir, contribuindo com a verba necessária para vigência do contrato.

- **Descarte Adequado de Resíduos Hospitalares**

  Com a gestão adequada de resíduos hospitalares, conciliada a implementação de tecnologias e práticas sustentáveis, pode-se reduzir o volume de resíduos a serem destinados à aterros sanitários, através do desenvolvimento e implementação de práticas como incineração controlada, garantindo a destruição de patógenos e a redução do volume de resíduos[12].

- **Uso de Inteligência Artificial para Triagem na Saúde**

  Com o intuito de utilizar a tecnologia para agilizar processos e permitir mais segurança, eficiência e assertividade no trabalho das equipes médicas e de enfermagem, prezando pela saúde e bem-estar dos pacientes, destaca-se a automatização do processo de triagem tanto nos hospitais públicos quanto privados, uma vez que, por não depender de atendimento humano, o próprio sistema já determina a ordem dos atendimentos, priorizando aqueles que apresentam casos de urgência e, consequentemente, otimizando esse procedimento de forma mais assertiva, a partir da inserção dos dados do paciente no sistema[13].

Aplicações de Cidades Inteligentes na saúde municipal contribuem para melhorar o acesso aos serviços de saúde, tendo como resultado um atendimento mais ágil, eficiente e centrado no cidadão, reduzindo o custo dos cuidados.

10.5 Iniciativas nos Sistemas Municipais

Os municípios paulistas têm investido bastante em tecnologias para melhorar o gerenciamento, o acompanhamento dos pacientes e a integração dos serviços de saúde. A seguir alguns alguns exemplos importantes.

- **Sistemas de Informação em Saúde Pública**

  São plataformas digitais que coletam, armazenam e analisam dados sobre a população, doenças, campanhas de vacinação, recursos disponíveis e outros indicadores de saúde. Esses sistemas ajudam os gestores municipais a tomar decisões mais embasadas, planejar ações e monitorar os resultados de forma eficiente.

- **Telemedicina**

  Trata-se do uso de tecnologias de comunicação para realizar atendimentos médicos, orientações, diagnósticos e acompanhamento de pacientes à distância. Isso amplia o acesso aos serviços de saúde, especialmente em áreas mais remotas ou com alta demanda, além de otimizar o tempo dos profissionais e reduzir filas.

- **Registros Eletrônicos de Saúde**

  São sistemas que digitalizam o histórico clínico do paciente, incluindo consultas, exames, medicamentos, alergias e tratamentos realizados. Com esses registros eletrônicos, os profissionais de saúde podem acessar informações atualizadas de forma rápida e segura, garantindo continuidade do cuidado e evitando duplicidade de exames ou tratamentos desnecessários.

Essas ferramentas, sob responsabilidade dos municípios, promovem uma gestão mais eficiente dos recursos, melhor comunicação entre os diferentes níveis de atenção e um acompanhamento mais preciso dos pacientes. Assim, a população tem acesso a um serviço de saúde mais integrado, ágil e de qualidade.

Iniciativas do Município de São Paulo

Algumas Iniciativas já Implementadas no Sistema de Saúde dos Municípios de São Paulo podem ser citadas as que seguem.

- **Plataforma "e-saudeSP"**

  Segundo o Programa de Reestruturação e Requalificação das Redes Assistenciais da Cidade de São Paulo (Avança Saúde SP [14]) em parceria com o Banco Internacional de Desenvolvimento (BID), moderniza e requalifica o serviço de atendimento à população da rede de saúde da capital. O aplicativo e-saudeSP [15, 16] é uma ferramenta pela o qual o cidadão consegue acessar o histórico de atendimento, exames, passaporte de vacinas, agendamentos e consultas. Trata-se de uma plataforma de telemedicina[13] e integração de dados clínicos de mais de 12 milhões de CPFs, fortalecendo a teleassistência., com eficiência comprovada sobretudo, durante a pandemia de Covid-19, onde o sistema ofereceu canal direto ao paciente [15, 19].

- **Monitoramento Cerebral Neonatal**

  A Prefeitura de São Paulo implementou tecnologia avançada para monitorar a saúde encefálica de recém-nascidos em UTIs, com o intuito de identificar desde convulsões até infecções, permitindo a detecção precoce de alterações neurológicas, possibilitando intervenções imediatas e prevenindo danos a longo prazo.

- **Confirmação de Consultas e Exames através de WhatsApp**

  A Prefeitura de São Paulo desenvolveu um Projeto, previsto para entrar em vigor em maio de 2025, onde agendamentos de consultas em especialidades e exames da rede pública municipal serão confirmados com antecedência via WhatsApp, com o intuito de lembrar a data aos usuários, reduzir o índice de não comparecimento, principalmente sem aviso-prévio e agilizar o atendimento.

Essas iniciativas demonstram o empenho da cidade de São Paulo em integrar tecnologia e inovação aos serviços de saúde, alinhando-se aos princípios de Cidades Inteligentes, com objetivo de oferecer um atendimento mais eficiente e acessível à população.

Refêrencias Bibliográficas

1. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa)** – Normas e regulamentos sobre equipamentos médicos e produtos para saúde. Site: https://www.gov.br/anvisa/pt-br

2. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro)** – Normas de certificação e avaliação de conformidade de equipamentos eletromédicos. Site: https://www.gov.br/inmetro/pt-br

3. **Ministério da Saúde do Brasil** - Manual Instrutivo do Programa SUS Digital / Ministério da Saúde, Secretaria de Informação e Saúde Digital. – Brasília. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guias-e-manuais/2024/manual-instrutivo-do-programa-sus-digital.

4. **Ministério da Saúde do Brasil** – Altera a Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para instituir o Programa SUS Digital. Disponível em: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-3.232-de-1-de-marco-de-2024-546278935

5. **Castelo-Branco**, Socorro, et al. "Experiência e benefícios da implantação da telessaúde na Amazônia." Latin American Journal of Telehealth 10.3, 2023

6. **Ministério da Saúde do Brasil** – Diretrizes, portarias e protocolos relacionados à aquisição, uso e manutenção de equipamentos de saúde no setor público. Site: https://www.gov.br/saude/pt-br

7. **Lei nº 14.133/2021 (Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos)** – Normas para processos de compras públicas no Brasil. Site:https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2021-2022/2021/Lei/L14133.htm

8. **Normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)** – Normas específicas para equipamentos médicos e de segurança. Site: https://www.abnt.org.br/

9. **MV Saúde Digital** – Conhecimento e soluções digitais na área de gestão de saúde. Site: https://mv.com.br/sobre-a-mv

10. **SciELO Brasil** – Biblioteca digital de acesso aberto. Site: https://www.scielo.br/j/ress/a/RqrG7HnJDhKxTY8F5pBBD6k/

11. **Afya iClinic** – Grupo de educação médica e soluções inovadoras para médicos. Site:https://blog.iclinic.com.br/mobile-health-conheca-a-tecnologia-que-esta-revolucionando-a-saude/

12. **IPESI Digital** – Portal de notícias da indústria. Site:https://ipesi.com.br/ppps-ajudam-no-desenvolvimento-de-cidades--inteligentes/

13. **Portal Telemedicina** – Empresa que oferece soluções inovadoras de saúde digital. Site:https://portaltelemedicina.com.br/triagem-na-saude#:~:text=No%20caso%20dos%20processos%20de%20triagem%2C%20entre,casos%20urgentes%20e%20que%20demandam%20atendimento%20emergencial.&text=Esse%20recurso%2C%20por%20exemplo%2C%20faz%20parte%20da,imagem%2C%20desenvolvido%20pela%20Portal%20Telemedicina%20em%202020

14. **Avança Saúde** – maior programa voltado ao Sistema Único de Saúde (SUS) com o intuito de modernizar o sistema, voltando-o à tecnologia. Site: https://avancasaude-bid.prefeitura.sp.gov.br/

15. **Cidade de São Paulo** – Portal de notícias da Cidade de São Paulo. Site :https://capital.sp.gov.br/w/saiba-mais-sobre-as-funcionalidades-do-aplicativo-e-sa%C3%BAdesp#:~:text=Lan%C3%A7ado%20em%20julho%20de%202020,at%C3%A9%20as%20unidades%20de%20sa%C3%BAde.

16. **Estúdio FOLHA** – utiliza ferramentas do jornalismo para oferecer conteúdo para marcas de diferentes plataformas.Sites: https://estudio.folha.uol.com.br/prefeitura-de-saopaulo/2025/04/prefeitura-de-sp-agiliza-atendimentos-na-saude-com-confirmacao-de-consultas-e-exames-via-whatsapp.shtml e https://estudio.folha.uol.com.br/prefeitura-de-saopaulo/2023/09/prefeitura-de-sp-utiliza-tecnologia-avancada-para-monitorar-saude-cerebral-de-bebes.shtml

17. **Secretaria de Estado da Saúde** – Estado de São Paulo – Exames do coração à distância triplicam em SP. Disponível em: https://www.saude.sp.gov.br/ses/noticias/2011/ marco/exames-do-coracao-a-distancia-triplicam-em-sp.

18. FREIRE, Layara Da Silva; SANTOS, Maria Aparecida da Rocha; SCACCIOTTO, Samira. Gestão de Saúde Pública na Capital de São Paulo Por Meio da Ubs: Estudo de Caso: E-Saúde. 2023.

19. PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Aplicativo integra dados e agiliza atendimento e diagnóstico de Covid-19 – Tecnologia cidade de São Paulo**., 2020. Disponível em: https://tecnologia.prefeitura.sp.gov.br/?p=3739. Acesso em: 17 maio 2025

Autores dos Capítulos de 1 a 10

Capítulo 1: Introdução

- Maria Luiza Otero D'Almeida Lamardo (malu@ipt.br)
- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)

Capítulo 2: Tratamento e Abastecimento de Águas

- Luciano Zanella (lucianoz@ipt.br)
- Olga Satomi Yoshida (olga@ipt.br)
- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)

Capítulo 3: Drenagem Urbana

- Filipe Antonio Marques Falcetta (falcetta@ipt.br)
- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)

Capítulo 4: Captação e Tratamento de Esgoto

- Luciano Zanella (lucianoz@ipt.br)
- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)

Capítulo 5: Gestão do Manejo da Arborização Urbana

- Giuliana Del Nero Velasco (velasco@ipt.br)
- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)
- Sergio Brazolin (brazolin@ipt.br)

Capítulo 6: Gestão de Resíduos Sólidos

- Cecilia Emi Yamanaka Matsumura (ceciliaemi@ipt.br)
- Claudia Echevengua Teixeira (cteixeira@ipt.br)
- Fernanda Peixoto Maneo (fpeixoto@ipt.br)
- Leticia dos Santos Macedo (leticiasm@ipt.br)
- Maria Luiza Otero D Almeida Lamardo (malu@ipt.br)

Capítulo 7: Produção e Distribuição de Energia Elétrica

- Antonio Francisco Gentil Ferreira Junior (agentil@ipt.br)
- Eduardo Berruezo (eduardob@ipt.br)
- Kleber Jesus de Oliveira (kleberjo@ipt.br)
- Marcelo Sanches Dias (mdias@ipt.br)
- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)

Capítulo 8: Produção e Distribuição de Gás e Combustíveis

- Ademar Hakuo Ushima (adidas@ipt.br)
- Ana Paula de Souza Silva (apaula@ipt.br)
- Heloisa Burkhardt Antonoff (heloisaa@ipt.br)
- Karina Meschini Batista G. Porto (karina@ipt.br)
- Ligia Antunes Almagro Alves de Souza (lalmagro@ipt.br)
- Olga Satomi Yoshida (olga@ipt.br)
- Renato de França (refranca@ipt.br)

Capítulo 9: Iluminação Pública

- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)

Capítulo 10: Serviços de Saúde

- Antonio Francisco Gentil Ferreira Junior (agentil@ipt.br)
- Mariana Fonseca Veloso Silva (marisilva@ipt.br)
- Oswaldo Sanchez Junior (osanchez@ipt.br)

ANEXOS

ANEXO A

Documentos Legais e Normas Técnicas

A.1 Documentos Legais

O ordenamento jurídico tem por finalidade regulamentar as relações sociais para garantir a paz e a segurança jurídica de um país. No Brasil é caracterizado como um conjunto de normas jurídicas escritas e interdependentes, que segue predominantemente o Sistema "Civil Law" (sistema jurídico que se baseia na lei escrita também conhecido como sistema romano-germânico ou direito continental), dispostas hierarquicamente com obediência ao princípio da supremacia constitucional.

Desta forma, a hierarquia das leis brasileiras está organizada de acordo com a "Pirâmide de Kensel" (representação gráfica do sistema hierárquico de um Estado, criada pelo jurista e filósofo austríaco Hans Kelsen) tendo como base a teoria do direito constitucional, em que as de menor grau obedecem às normas de maior grau, iniciando a pirâmide pelo topo com a Carta Magna, assim dispostas.

Normas Constitucionais

Constituição Federal de 1988

No topo do ordenamento jurídico brasileiro estão a Constituição e todas as suas emendas, que servem de parâmetro de validade a todas as demais espécies normativas. Entre as normas constitucionais tem-se: (a) as **normas constitucionais originárias** (elaboradas pelo Poder Constituinte Originário, ou seja, poder que desenvolve uma nova constituição; (b) as **normas constitucionais derivadas** (emendas que foram adicionadas à Constituição Federal posteriormente à sua promulgação pelo Poder Constituinte Derivado, ou seja, poder que altera a Constituição).

Tratados Internacionais de Direitos Humanos

Os tratados internacionais de direitos humanos aprovados por meio do rito ordinário são nomeados supralegais, isto é, ficam abaixo da Constituição e de suas emendas e acima das demais normas legais. Porém, já são considerados infraconstitucionais.

Normas Infraconstitucionais

Abaixo dos tratados internacionais de direitos humanos estão situadas as normas infraconstitucionais. São elas: as leis (complementares, ordinárias e delegadas), as medidas provisórias, os decretos legislativos, as resoluções e os tratados internacionais de direitos humanos aprovados por meio do rito ordinário.

Leis Complementares

São aquelas regulamentadas com a intenção de complementar e explicar a Constituição por exigência da mesma, ou seja, em casos onde a Constituição Federal estabelecer que haja uma lei específica para regulamentar a matéria em questão, é criada uma lei complementar.

Leis Ordinárias

São normas jurídicas que tratam de assuntos de competência do Estado, como direitos e deveres dos cidadãos, organização dos poderes, e políticas públicas. As leis ordinárias têm a função de complementar as normas constitucionais que não foram tratadas pelas leis complementares.

Leis Delegada

São normas jurídicas elaboradas pelo Poder Executivo, com autorização do Poder Legislativo, que permite ao Executivo legislar sobre determinados assuntos.

Medidas Provisórias

Editadas pelo Poder Executivo em casos de relevância e urgência, com prazo para conversão em lei pelo Congresso Nacional.

Normas Infralegais

As normas infralegais são regulamentos, decretos, portarias, resoluções e instruções normativas editadas por órgãos administrativos para detalhar e facilitar a aplicação das leis infraconstitucionais. Essas normas não podem criar obrigações novas ou ir além do escopo das leis que as autorizam, servindo principalmente para organizar a administração pública e assegurar que a lei seja implementada corretamente. Tem-se:

Decretos

Emitidos pelo Presidente da República, governadores de estado e prefeitos. Esses decretos são instrumentos normativos utilizados para regulamentar leis federais, estaduais ou municipais e organizar a administração pública.

Portarias

Atos normativos editados por uma ou mais autoridades singulares, por meio das quais são expedidas instruções sobre organização e funcionamento de serviços e outros atos de sua competência.

Resoluções

São atos normativos editados por colegiados legalmente instituídos

Instruções normativas

São atos administrativos que complementam leis e decretos, disciplinando a execução de atividades. São expedidas por autoridades administrativas com o objetivo de orientar agentes públicos para padronizar rotinas e atividades, e garantir a continuidade do serviço público.

Hierarquia entre Leis

No sistema jurídico brasileiro ainda existe uma hierarquia entre leis federais, estaduais, municipais ou distritais, fundamentada na distribuição de competências estabelecida pela Constituição Federal.

Leis federais

Têm alcance nacional e supremacia sobre as demais, abordando matérias de competência exclusiva da União ou em casos de conflitos entre legislações de diferentes esferas.

Leis estaduais

São aplicáveis dentro dos limites de cada estado, seguindo as diretrizes federais e abrangendo questões não exclusivas da União nem municipais.

Leis municipais

Regem dentro dos municípios e devem alinhar-se às leis federais e estaduais, focando em assuntos de interesse local como urbanismo e serviços públicos.

Documentos Legais Referentes À Serviços

Os documentos legais estão indicados ao longo do caderno técnico. Tão importante quando esses documentos é a Carta Brasileira para Cidades Inteligentes[1], documento de referência, lançado em 2020, que define um conceito de cidades inteligentes no Brasil e orienta políticas e programas sobre a transformação digital urbana. Ela traz 160 recomendações apoiadas em 8 objetivos estratégico (Tabela A.1.1).

Tabela A.1.1 – Objetivos estratégicos da Carta Brasileira para Cidades Inteligentes

Objetivo 1	Integrar a transformação digital nas políticas, programas e ações de desenvolvimento urbano sustentável, respeitando as diversidades e considerando as desigualdades presentes nas cidades brasileiras.
Objetivo 2	Prover acesso equitativo à internet de qualidade para todas as pessoas.
Objetivo 3	Estabelecer sistemas de governança de dados e de tecnologias, com transparência, segurança e privacidade.
Objetivo 4	Adotar modelos inovadores e inclusivos de governança urbana e fortalecer o papel do poder público como gestor de impactos da transformação digital nas cidades.
Objetivo 5	Fomentar o desenvolvimento econômico local no contexto da transformação digital.
Objetivo 6	Estimular modelos e instrumentos de financiamento do desenvolvimento urbano sustentável no contexto da transformação digital.
Objetivo 7	Fomentar um movimento massivo e inovador de educação e comunicação públicas para maior engajamento da sociedade no processo de transformação digital e de desenvolvimento urbanos sustentáveis
Objetivo 8	Construir meios para compreender e avaliar, de forma contínua e sistêmica, os impactos da transformação digital nas cidades

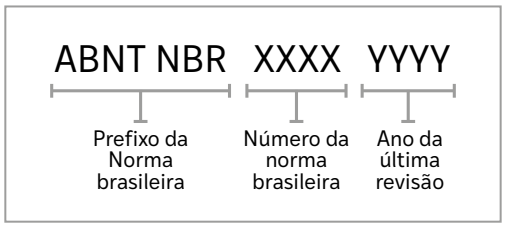
A.2. Normas Técnicas

Normas técnicas são procedimentos estabelecidos por consenso entre as partes interessadas. Possibilitam a criação de uma linguagem comum, reduzem a variabilidade de interpretações e sistematizam a formulação e aplicação de regras.

Há vários tipos de normas, cada qual com sua finalidade, como por exemplo, as de terminologia, de processos e de serviços, entre várias.

No Brasil é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que tem a missão de prover a sociedade brasileira com documentos normativos. Para a elaboração das normas ela conta com Comitês Técnicos,

que coordenam, planejam e executam as atividades de normalização relacionadas ao seu âmbito de atuação. As normas ABNT são consideradas normas brasileiras, por isso são codificadas como ABNT NBR e são escritas como indicado abaixo.



A ABNT dispõe de um catálogo de normas, por meio do qual elas podem ser adquiridas. O número da norma não muda, mas elas passam por revisões, portanto é importante ao usar uma norma verificar se ela se refere à última edição.

As normas não têm obrigatoriedade de atendimento, exceto quando são citadas em documentos legais como acontece, por exemplo, na Lei Federal N°8.078 de 11 de setembro de 1990 (Código de Defesa do Consumidor). Por outro lado, na falta de documentos legais as normas brasileiras (ABNT NBR) frequentemente são usadas como tal.

As normas também têm alcances diferentes, podendo ser: internacionais, por exemplo, as normas da *Internationla Organization for Standardization* (ISO); regionais, por exemplo, as normas do Comitê Europeu (EU); sub-regionais, por exemplo, as normas MERCOSUL; nacionais, que são referentes a um país, como por exemplo, as normas da ABNT NBR.

A ABNT é membro fundador da ISO e sempre que internaliza norma desta instituição deve colocar a sigla ISO no prefixo da norma, que passa a ser ABNR NBR ISO.

Normas Técnicas de Aplicação Geral

Dentre as normas técnicas de aplicação geral merecem destaques as que seguem, que podem ser adquiridas por meio do Catálogo de Normas ABNT[2].

- ABNT NBR ISO 37101:2017. Versão corrigida 2021. Emenda 1:2024 – Desenvolvimento sustentável de comunidades- Sistema de gestão para desenvolvimento sustentável - Requisitos com orientação para uso.

  Esta norma estabelece requisitos para um sistema de gestão para desenvolvimento sustentável em comunidades, incluindo cidades, utilizando uma abordagem holística, visando assegurar a coerência com a política para desenvolvimento sustentável de comunidades.

- ABNT NBR ISO 37104:2024. - Cidades de comunidades sustentáveis. Transformando nossas cidades – Recomendações para a implementação prática da ABNT NBR ISO 37101 no âmbito local.

  Este documento fornece orientações sobre como implementar e manter um sistema de gestão para o desenvolvimento sustentável com base nos princípios da ABNT NBR ISO 37101, especificamente no contexto das cidades, mas aplicável a outras formas de assentamento. Estabelece uma estrutura metodológica para avaliação sistemática as iniciativas e resultados para o desenvolvimento sustentável na cidade ou em outros assentamentos, cm base na análise cruzada dos seis propósitos de sustentabilidade e das 12 áreas de ação da ABNT NBR ISO 37101.

- ABNT NBR ISO 37120:2021 - Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida

  Esta norma define e estabelece metodologias para um conjunto de indicadores, a fim de orientar e medir o desempenho de serviços urbanos e qualidade de vida. Ela se aplica a qualquer cidade, municipalidade ou governo local que intencione medir seu desempenho de uma forma comparável e verificável, independentemente do tamanho e da localização.

Os indicadores contidos nesta norma podem ser utilizados para rastrear e monitorar o progresso do desempenho da cidade e assim avaliar a gestão de seus serviços urbanos e de sua prestação de serviços.

- ABNT NBR ISO 37122:2020. Versão corrigida 2021. Errata 1:2021. - Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para cidades inteligentes

  Esta norma especifica e estabelece definições e metodologias para um conjunto de indicadores de cidades inteligentes. Ela se aplica a qualquer cidade, municipalidade ou governo local que intencione medir seu desempenho de uma forma comparável e verificável, independentemente do tamanho e da localização. Ela, juntamente coma ABNT NBR ISO 37120, se destina a fornecer um conjunto completo de indicadores para medir o progresso em direção a uma cidade inteligente.

- ABNT NBR ISO 37123:2021 - Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para cidades resilientes

  Esta norma especifica e estabelece definições e metodologias para um conjunto de indicadores de cidades resilientes. Ela se aplica a qualquer cidade, municipalidade ou governo local que intencione medir seu desempenho de uma forma comparável e verificável, independentemente do tamanho e da localização. Ela, juntamente coma ABNT NBR ISO 37120, se destina a fornecer um conjunto completo de indicadores para medir o progresso em direção a uma cidade resiliente.

Referências Bibliográficas

1. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Carta Brasileira Cidades Inteligentes**. Disponível em https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/desenvolvimento-urbano-e-metropolitano/projeto-andus/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes. Acesso em: 8 abr. 2025.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Consulta ao catálogo. Rio de Janeiro, ABNT, 2025. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/. Acesso em: 09 mar. 2025

ANEXO B

Inteligência Artificial: Conceitos e Desafios

B.1 Introdução

Até pouco tempo atrás, a Inteligência Artificial (IA) era algo presente somente em laboratórios de pesquisas científicas. Para o público em geral, era conhecida apenas em filmes de ficção científica. Atualmente, essa realidade mudou completamente, o tema tem se difundido por todas as mídias e já se pode observar o uso de IA no dia a dia das pessoas. Isso está acontecendo diante dos grandes avanços recentes nesse campo, que permitiram o desenvolvimento de aplicações práticas que estão revolucionando as mais diversas áreas de atuação humana[1].

Os primeiros estudos formais de IA surgiram nos anos 1950, com pesquisadores como Allen Newell e Herbert Simon nos EUA, mas o campo evoluiu enormemente desde então. No século XXI, a IA ganhou protagonismo graças ao aumento do poder computacional, do volume de dados disponíveis e de avanços em algoritmos de *machine learning* (aprendizado de máquina), *deep learning* (aprendizado profundo) e outras subáreas[2].

De forma simplificada, podemos dizer que a Inteligência Artificial (IA) consiste em simular mecanismos de raciocínio humano por meio da computação, com algoritmos que podem analisar grandes quantidades de dados[3], tomar decisões com base em regras ou padrões aprendidos e "acumular conhecimento" durante o processo[1]. A importância da utilização da IA na administração pública cresce à medida que as cidades enfrentam problemas cada vez mais complexos e lidam com volumes massivos de dados[4]. O conceito de cidades inteligentes surgiu nesse contexto, exatamente para destacar o uso efetivo de tecnologias digitais na gestão urbana. IA pode ser peça-chave ao ser adotada por prefeituras e órgãos públicos, abrindo novas possibilidades para o planejamento urbano, a prestação de serviços e o atendimento às demandas da população de forma mais ágil, personalizada e com menor custo[4].

Em vez de decisões baseadas apenas na intuição, os gestores passam a dispor de ferramentas que permitem extrair informações relevantes de grandes volumes de dados digitais, gerando maior eficiência no uso de recursos públicos e uma nova forma de tomar decisões, orientada por evidências. Isso significa que as informações obtidas com o uso de tecnologias digitais e IA permitem que se tenha uma espécie de camada invisível sobre o mapa de uma cidade, que auxilia a mensurar muitos fatores antes imensuráveis.

Entre as principais aplicações da Inteligência Artificial (IA) na gestão pública destacam-se as indicadas na Figura B.1.1

Figura B.1.1. – Principais aplicações da IA na gestão pública [5, 6, 7].

Previsão	Utiliza informações históricas para antecipar situações futuras e apoiar decisões mais seguras e planejadas.
Reconhecimento de padrões	Analisa grandes volumes de dados para detectar tendências e comportamentos, permitindo respostas rápidas e eficazes.
Reconhecimento de imagens e vídeos	Facilita o monitoramento automático de situações ou problemas, aumentando a eficiência na gestão.
Processamento de linguagem natural	Possibilita que sistemas compreendam e processem textos e diálogos humanos, automatizando atendimentos e interpretando demandas.
Reconhecimento de voz e análise de sentimentos	Identificam rapidamente situações críticas e avaliam automaticamente o nível de satisfação das pessoas com os serviços oferecidos.
Sistemas de recomendação	Analisam dados passados para oferecer serviços adaptados às necessidades específicas dos cidadãos.
Gêmeos digitais	Criam modelos digitais da cidade, permitindo testar virtualmente ações e projetos antes de realizá-los na prática, reduzindo riscos e custos.
Sistemas de otimização	Ajudam a definir a melhor forma de usar recursos disponíveis, promovendo economia e sustentabilidade.

Essas aplicações, combinadas, capacitam as administrações públicas a atuar de forma mais proativa, inteligente e eficaz, potencializando os esforços governamentais em cumprir seu papel e melhorar a qualidade de vida das pessoas nas cidades.

B.2 Vantagens e Limitações do Uso de IA em Cidades Inteligentes

Vários benefícios do uso da Inteligência Artificial podem ser destacados. A Figura B.2.1 apresenta alguns.

Figura B.2.1. –Benefícios do uso da Inteligência Artificial

Maior eficiência de custos operacionais

Tarefas repetitivas ou análises complexas que tomariam horas dos servidores podem ser automatizadas, liberando a equipe para atividades de maior valor estratégico. Processos internos tornam-se mais ágeis e há economia de recursos no médio prazo.

Decisões mais embasadas e proatividade

Com a IA identificando padrões ocultos em bases de dados extensas, prefeituras conseguem prever eventos futuros ou necessidades, por exemplo antecipar demanda por certos serviços ou risco de ocorrências e planejar ações preventivas. A tomada de decisão torna-se mais científica, orientada por dados ao invés de intuições.

Melhoria nos serviços ao cidadão

Os moradores percebem a cidade "funcionando melhor". Isso aumenta a confiança do público na administração. Ferramentas como assistentes virtuais também ampliam a disponibilidade de atendimento (24/7) e a conveniência para o usuário, elevando a satisfação.

Transparência e controle

Muitos sistemas de IA vêm acompanhados de dashboards e indicadores em tempo real. Isso permite aos gestores acompanhar de perto a performance de serviços públicos e medir resultados de políticas quase que instantaneamente. Também pode-se disponibilizar parte desses dados para a população, aumentando a transparência das ações do governo local.

Apesar dos benefícios é preciso atentar aos obstáculos e cuidados ao introduzir IA na esfera municipal. A seguir são indicados alguns desafios.

Qualidade e disponibilidade dos dados

A eficácia de qualquer modelo de IA depende diretamente da quantidade e qualidade dos dados disponíveis para treiná-lo. Muitas prefeituras ainda enfrentam bases de dados fragmentadas entre secretarias, informações desatualizadas ou inconsistentes. É necessário investir em governança de dados, integrando bancos de dados das diversas áreas do município e garantindo que estejam limpos, atualizados e anonimizados quando contêm dados pessoais. Sem dados confiáveis, a IA pode gerar resultados imprecisos.

Infraestrutura tecnológica insuficiente

Algoritmos avançados demandam infraestrutura de TI adequada – conexões de internet rápidas, servidores ou serviços de nuvem com poder de processamento e armazenamento, e dispositivos IoT (sensores, câmeras) espalhados pela cidade para coletar informações. No Brasil, ainda há uma lacuna de conectividade, pois poucos municípios contam com cobertura 5G, recurso cada vez mais essencial para suportar aplicações urbanas inteligentes.

Capacitação técnica e recursos humanos

A presença de profissionais qualificados em ciência de dados, análise de dados e desenvolvimento de IA no quadro das prefeituras é necessária. O mercado de TI já demanda mais especialistas em IA do que as universidades conseguem formar, e o setor público compete com o privado por esse talento escasso. Assim, governos locais precisam investir na capacitação de suas equipes e/ou buscar parcerias para suprir essa expertise. Além disso, é importante promover uma cultura organizacional aberta à inovação, treinando também servidores não técnicos a interagir com as novas ferramentas.

Custos iniciais e sustentabilidade

Implementar IA pode exigir investimentos significativos na fase inicial – compra de equipamentos, contratação de sistemas ou consultorias, treinamento de pessoal. Para prefeituras com orçamento limitado, justificar esses gastos requer planejamento e talvez adoção gradual (projetos-piloto). Além disso, é preciso prever os custos de manutenção dessas soluções a longo prazo (atualizações, suporte técnico, renovação de licenças), evitando que projetos morram após o entusiasmo inicial por falta de recursos continuados.

Questões éticas, legais e de privacidade

O uso de IA na gestão pública traz responsabilidade de respeitar a privacidade dos cidadãos e evitar vieses discriminatórios. Sistemas de reconhecimento facial, por exemplo, levantam preocupações legais (conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados – LGPD) e éticas (possibilidade de identificar erroneamente alguém inocente). Decisões automatizadas precisam de transparência e supervisão humana, principalmente em áreas sensíveis como segurança e assistência social, para garantir que direitos individuais não sejam violados. As prefeituras devem implementar IA de forma responsável, com algoritmos auditáveis e adoção de diretrizes para evitar preconceitos embutidos nos modelos.

Em suma, a incorporação da Inteligência Artificial na gestão municipal deve ser feita com planejamento e cautela. Não se trata de uma solução mágica, mas sim de uma ferramenta poderosa que requer dados de qualidade, infraestrutura, pessoas capacitadas e bom senso na aplicação. Uma visão clara dos problemas a serem resolvidos e do objetivo almejado com a IA é fundamental para que a tecnologia gere valor público efetivo e não se torne um investimento subutilizado.

B.3 Modelo de Maturidade para Implantação de IA nas Cidades

Cada cidade está em um estágio diferente de prontidão para adotar soluções de gestão de dados e IA. Enquanto algumas cidades já possuem infraestrutura avançada e equipes dedicadas à análise de dados, muitos municípios, especialmente os menores, estão apenas começando a digitalizar seus processos básicos[8].

Para orientar a evolução tecnológica das cidades, é fundamental utilizar um Modelo de Maturidade[9]. Esse modelo consiste em uma estrutura de níveis ou estágios que permite verificar o quão preparada uma cidade está para se tornar mais inteligente e capaz de implantar IA de forma eficaz, bem como quais passos deve seguir para alcançar esse objetivo.

No contexto brasileiro, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) lançou recentemente a plataforma Inteligente[10], que oferece um diagnóstico de maturidade para Cidades Inteligentes

e Sustentáveis. Esse diagnóstico foi construído com base em um modelo internacional da União Internacional de Telecomunicações (UIT/ITU) adaptado à realidade dos municípios brasileiros. Nele, a maturidade da cidade é avaliada em quatro dimensões principais – econômica, ambiental, sociocultural e capacidades institucionais – e cada dimensão possui indicadores que posicionam o município em um determinado nível de desenvolvimento tecnológico/digital.

São definidos sete níveis de maturidade (Figura B.3.1) no modelo da UIT, que vão desde estágios iniciais (onde a cidade tem infraestrutura muito básica e quase nenhum serviço digitalizado) até estágios avançados (cidade altamente integrada digitalmente, com uso extensivo de tecnologias de análise de dados e IA em serviços e processos). Ferramentas como essa permitem às prefeituras identificar em que patamar estão e traçar um plano de evolução, alinhado a padrões internacionais, para avançar na escala de cidades inteligentes.

Figura B.3.1 – Os sete níveis de maturidade do modelo UIT

Adesão	A cidade reconhece desafios, mas ainda não possui um plano de transformação digital. Há baixa digitalização, infraestrutura desigual e falta de integração entre setores.
Engajamento	Início da articulação para modernização, com identificação de áreas prioritárias, investimentos em infraestrutura básica e digitalização inicial dos serviços públicos.
Planejamento	Definição de estratégias e políticas de dados, com acompanhamento por indicadores. Há interoperabilidade entre setores e identificação de áreas prioritárias para gestão e monitoramento.
Alinhamento	Implementação de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) para melhorar serviços e soluções. A cidade inicia ações de inclusão digital, monitoramento contínuo e pesquisas de satisfação.
Desenvolvimento	Expansão da tecnologia para aprimorar a gestão pública. Os serviços atendem a maior parte da população de forma integrada, com participação ativa da sociedade.
Integração	Consolidação da estratégia digital, integração territorial com outros municípios e uso de TICs avançadas para suporte a serviços em tempo real. Governança pública com forte participação social.
Otimização	Cidade inteligente consolidada, sustentável e inclusiva. Infraestrutura totalmente digitalizada, automatização avançada e uso de grandes volumes de dados para previsão e aprimoramento contínuo dos serviços públicos.

Para avaliar a prontidão e planejar a implantação de análise de dados e IA, alguns critérios de maturidade são particularmente importantes, como a disponibilidade de dados, infraestrutura e capacitação de equipes, como destacado a seguir.

Disponibilidade e Qualidade de Dados

É possivelmente o critério mais importante[11]. Uma cidade madura para efetuar análises avançadas de dados e uso de IA precisa ter dados abundantes, acessíveis e confiáveis sobre seus diversos setores. Isso envolve desde manter bases cadastrais atualizadas (de cidadãos, imóveis, empresas) até coletar dados operacionais contínuos (sensores de trânsito, registros de atendimento, indicadores de saúde e outros).

Além da existência dos dados, é necessário que eles possuam boa qualidade e sejam integrados entre os setores interessados. Cidades mais avançadas no caminho de se tornarem inteligentes já implementam *data warehouses* ou *data lakes* centralizados, onde diferentes bancos de dados municipais se conectam, possibilitando correlações e análises intersetoriais.

Em uma avaliação de maturidade as perguntas efetuadas sobre dados visarão identificar: q*ue dados a cidade tem? Em que formato? Com que frequência são coletados e atualizados? Eles estão prontos para alimentar algoritmos de IA*. Quanto mais respostas positivas para perguntas como essas, maior o nível de maturidade da cidade.

Infraestrutura tecnológica[12]

Refere-se aos meios físicos e digitais disponíveis para suportar soluções de IA. Isso inclui conectividade (redes de internet rápidas, Wi-Fi público, cobertura móvel 4G/5G), equipamentos (servidores, computadores, câmeras, sensores IoT nas ruas) e plataformas de software adequadas (sistemas em nuvem, ferramentas de big data e outros).

Uma cidade com baixa maturidade talvez não tenha computadores suficientes ou internet estável nas repartições públicas, enquanto uma cidade com alta maturidade investe em centros de dados robustos e pode ter infraestrutura mais robusta, como redes 5G e computação em nuvem híbrida. A diferença entre esses casos é muito significativa: municípios com tecnologia deficiente terão dificuldade em rodar algoritmos complexos ou coletar dados em tempo real, ao passo que cidades bem equipadas conseguem implementar projetos mais avançados em tecnologias digitais, como semáforos inteligentes, vigilância com IA, aplicativos móveis integrados, dentre outros.

Ao avaliar maturidade, verifica-se o nível de informatização da gestão, a presença de sensores e automação na cidade (por exemplo, iluminação pública telecontrolada, semáforos conectados) e a capacidade de armazenar e processar dados em larga escala (localmente ou via cloud). A existência de uma boa infraestrutura denota que a cidade pode não só implantar como também escalar soluções de IA.

Capacitação de equipes

Um critério fundamental para a transformação das cidades em inteligentes é avaliar o capital humano e a cultura institucional da prefeitura para lidar com dados e IA. Cidades mais avançadas possuem em seu quadro (ou ao alcance por meio de parceiros) especialista como cientistas de dados, analistas de TI, engenheiros de software e gestores de inovação. Por outro lado, cidades iniciantes no assunto, geralmente não dispõe de uma equipe de TI própria estruturada.

É importante destacar que evoluir em maturidade é um processo contínuo. Uma boa prática é começar com projetos piloto de análise de dados e IA em áreas estratégicas e, aprender com eles, e expandir o conhecimento adquirido a outros setores. Paralelamente, investir em melhorar a infraestrutura de dados e capacitar pessoas garante que, ao longo do tempo, a prefeitura suba os degraus da maturidade.

O modelo de maturidade serve como um mapa para a cidade se orientar na jornada da transformação digital. Ele mostra onde a cidade está, onde pode chegar, e quais lacunas precisa preencher – seja melhorar sua base de dados, modernizar equipamentos ou treinar sua equipe – para implantar a Inteligência Artificial de forma bem-sucedida e colher todos os benefícios das tecnologias emergentes.

B.4 Salas de Situação e Compartilhamento de Dados

Salas de Situação

Uma sala de situação é um espaço físico (ou virtual) onde informações de múltiplas fontes são reunidas e analisadas em conjunto por uma equipe multidisciplinar, para o monitoramento e a coordenação das ações da cidade. Representa a materialização prática do conceito de gestão orientada por dados (*data-driven*). Ela cria um ambiente onde a IA, os sistemas de monitoramento e as equipes humanas trabalham em sintonia, resultando em uma administração municipal mais conectada, informada e preparada para otimizar serviços no dia a dia quanto para enfrentar crises quando necessário.

Uma sala de situação moderna assemelha-se a um centro de controle, onde telões exibem mapas da cidade, imagens de câmeras espalhadas pelo município e gráficos de indicadores atualizados a cada minuto. Em torno dessas telas, ficam posicionados profissionais de várias secretarias e analistas de dados, todos acompanhando as informações e trabalhando de forma coordenada.

Um ponto fundamental de salas de situação é a integração de dados entre diferentes níveis de governo e setores. Muitos problemas urbanos atravessam as fronteiras departamentais – ou até mesmo as fronteiras municipais – e requerem cooperação. Por isso, essas salas costumam ser alimentadas não só por dados da própria prefeitura, mas também por informações de órgãos estaduais e federais e de entidades privadas parceiras. Isso significa que, ao detectar pela câmara um veículo roubado, por exemplo, o alerta chega simultaneamente à guarda municipal na sala e polícia militar, que pode interceptar o carro. Ou, no caso de um incêndio em um prédio, os Bombeiros são acionados imediatamente e podem coordenar a resposta junto com a Defesa Civil municipal.

Em resumo, a sala de situação traz consciência situacional para a administração municipal: uma visão unificada e em tempo real de tudo o que importa na cidade, facilitando decisões baseadas em dados e a atuação conjunta das áreas envolvidas.

Compartilhamento de Dados (Portais de Dados Abertos)

Enquanto na sala de situação o foco é o uso interno das informações pelos gestores públicos para operação e planejamento em tempo real os portais de dados abertos são aqueles que disponibilizam publicamente dados governamentais em formato acessíveis e licenciados para reutilização, permitindo que qualquer pessoa (cidadãos, pesquisadores, empresas) os análise e crie aplicações a partir deles. No Brasil, a Lei de Acesso à Informação e a Política de Dados Abertos incentiva os órgãos públicos a publicar suas bases de dados não sigilosos.

Uma boa integração de dados (interna e entre entes federativos) que alimenta a sala de situação também facilita a publicação de dados abertos padronizados, e vice-versa. Em ambos os casos, a interoperabilidade e a atualização contínua dos dados são vitais.

É fundamental que os dados abertos sejam anonimizados e tratados para não expor informações pessoais sensíveis. A prefeitura deve remover identificadores pessoais (como nome, CPF, endereço específico) e agregar dados quando necessário, para cumprir a LGPD e garantir a privacidade. Feito isso, a maioria das bases – especialmente dados estatísticos ou geográficos – pode ser liberada sem receios. Outro ponto é fornecer os dados em formatos padronizados e fáceis de consumir (CSV, JSON, APIs abertas), para atrair a comunidade de desenvolvedores.

Referências Bibliográficas

1. LEE, K.; BARBAO, M. **Inteligência Artificial.** Rio de Janeiro: Globo Livros, 2019. 292 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=cNYfywEACAAJ. Acesso em: 02 maio 2025.

2. RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence**: a modern approach. Hoboken, NJ: Pearson Education, 2016.

3. MARTIAN, N. **Smart cities and urban innovation:** a simplified guide for everyone. [*S. l.: s. n.*], 2025. 232 p.

4. ADJE, K. D.; LETAIFA, A. B.; HADDAD, M.; HABACHI, O. Smart city based on open data: a survey. **IEEE Access**, v. 11, p. 56726–56748, 2023. Doi:10.1109/access.2023.3283436

5. COZMAN, F. G.; PLONKI, G. A.; NERI, H.G. A. **Inteligência artificial**: avanços e tendências. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de Estudos Avançados, 2021. 414 p. Doi:10.11606/9786587773131

6. INÁCIO, A. D.; LEAL, A. G.; GAVA, V. L.; SANTOS, A. S. Salas de Situação: Implantação de monitoramento inteligente como suporte às Políticas Públicas. *In:* WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA EM GOVERNO ELETRÔNICO, 2021, Florianópolis. **Anais [...].** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 283–290. Doi:10.5753/wcge.2021.15997

7. BHATIA, V.; JAGLAN, V. Integrating Artificial Intelligence and IoT for Smart Cities. In: DALAL, S. et al. Reshaping Intelligent Business and Industry: Convergence of AI and IoT at the Cutting Edge. Hoboken, NJ: Wiley, 2024. Cap. 17**.**

8. ALJOWDER, T.; ALI, M.; KURNIA, S. Systematic literature review of the smart city maturity model. *In:* INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATION AND INTELLIGENCE FOR INFORMATICS, COMPUTING, AND TECHNOLOGIES (3ICT), 2019, Bahrain. **Proceedings [...].** Piscataway: IEEE, 2019. p. 1–9. Doi:10.1109/3ict.2019.8910321

9. KLAR, R.; ARVIDSSON, N.; ANGELAKIS, V. Digital Twins' Maturity: The Need for Interoperability. **IEEE Systems Journal,** v. 18, n. 1, p. 713–724, 2024. Doi:10.1109/jsyst.2023.3340422

10. PASETO, L.; GONTIJO, J. G.; DE AZAMBUJA, E. E.; VIDAL, K. D.; ALVES, A. M.; MUNIZ, C. R.; CORSO, M. R. inteli.gente Platform: Tool for Diagnosing Maturity in Brazilian Sustainable Smart Cities. *In:* INTERNATIONAL SMART CITIES CONFERENCE (ISC2), 2021. **Proceedings [...].** Piscataway: IEEE, 2021. p. 1-6. Doi:10.1109/isc253183.2021.9562934

11. GUPTA, S.; KUMAR, A.; MAITI, J. A critical review on system architecture, techniques, trends and challenges in intelligent predictive maintenance. **Safety Science**, v. 177, art. 106590, Sept. 2024. Doi:10.1016/j.ssci.2024.106590

12. SILVA, L. C.; RIEDO, I. G.; MENDONÇA, J. C.; NOBRE, L. B.; MAIOLI, S. F. Understanding smart cities: a systematic review. **Revista de Administração da UFSM**, v. 17, n. 1, e7, 2024. Doi:10.5902/1983465973468

ANEXO C

Indicadores para Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

C.1 Relação entre Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

As palavras inteligente, resiliente e sustentável, quando presentes após o nome *cidade*, são adjetivos de caráter geral e que envolvem ações de certa forma interligadas entre si. Assim, a inter-relação entre **cidades inteligentes**, **resilientes** e **sustentáveis** está no fato de que esses três conceitos, embora distintos, se complementam e se fortalecem mutuamente quando aplicados em conjunto no planejamento e desenvolvimento urbano.

De modo resumido pode-se dizer que: cidades inteligentes usam a tecnologia de dados para melhorar a eficiência dos serviços urbanos, a qualidade de vida dos cidadãos e a gestão dos recursos; cidades resilientes são capazes de resistir, se adaptar e se recuperar de crises e desastres naturais ou humanos; cidades sustentáveis têm como objetivo o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação ambiental, promovendo justiça social e bem-estar das futuras gerações.

Uma cidade inteligente usa a tecnologia para ser mais eficiente, mas ela precisa ser sustentável para durar e resiliente para enfrentar desafios. Esses três pilares são essenciais para construir um futuro urbano equilibrado, onde a tecnologia serve às pessoas, respeita o planeta e garante segurança diante das incertezas (Figura C.1.1).

Figura C.1.1 – Pilares para um futuro urbano equilibrado

C.2 Indicadores para Cidades Inteligentes, Resilientes e Sustentáveis

As cidades apresentam inúmeras diferenças entre si. Essas variações podem ser observadas em diversos aspectos, como infraestrutura, cultura, economia, clima, tamanho populacional, acesso a serviços públicos e qualidade de vida, entre outros.

Apesar das diferenças, as cidades possuem um objetivo comum, que pode ser resumido em promover o bem-estar da população por meio do desenvolvimento sustentável, da inclusão social, do crescimento econômico e da valorização cultural. Para tal ela se apoia em um Planejamento Urbano elaborado de acordo com o perfil da cidade. Porém, é essencial que ela verifique se a implantação desse planejamento está tendo os resultados e evoluções desejáveis. Isto pode ser feito por meio de indicadores de desempenho, que podem ser medidas quantitativas, qualitativas ou descritivas.

Definir um conjunto de indicadores para uma cidade não consiste de tarefa fácil. Cidades são complexas, com seus elementos sociais, políticos, econômicos e culturais interagindo e reagindo com a espacialidade e o ambiente construído da cidade. Qualquer conjunto de indicadores, não será capaz de refletir plenamente a complexidade urbana e as muitas escalas em que os impactos urbanos são sentidos[1]. Apesar dessa restrição, os indicadores são necessários e atendem a múltiplos propósitos. Por exemplo, podem se tornar parte da avaliação e comparação de condições e tendências no espaço e no tempo, monitorando o progresso em direção a metas e objetivos, informando o planejamento e a tomada de decisões, aumentando a conscientização, encorajando mudanças políticas e comportamentais, promovendo a participação pública e melhorando a comunicação[1].

A Figura C.2.1 traz exemplos de indicadores, com o objetivo apenas de dar uma visão geral de cada caso específico de cidade. Seria fácil se os indicadores se restringissem a esses exemplos, mas gestores municipais enfrentam o desafio de selecionar indicadores para monitoramento sistemático de suas cidades. Essa escolha é muito importante, pois afeta diretamente a gestão e a tomada de decisões da cidade, sendo que os gestores devem estar atentos para não se perderem na quantidade de dados urbanos complexos[2].

Figura C.2.1 – Exemplos de indicadores

Exemplos de indicadores para cidades sustentáveis

- Emissões de CO2 (tonelada habitante/ano)
- Qualidade do ar
- Áreas verdes (metro quadrado/habitante)
- Reciclagem de resíduos sólidos urbanos (porcentagem do total gerado)
- Consumo de energia renovável (porcentagem da matriz energética)
- Transporte sustentável (porcentagem da população)

Exemplos de indicadores para cidades inteligentes

- Acesso à internet de alta velocidade (porcentagem da população)
- Serviços públicos digitalizados (porcentagem dos serviços)
- Aplicativos de mobilidade urbana (quantidade)
- Sistema inteligente de transporte (existe ou não)
- Plataformas online (número de interações/ano)

Exemplos de indicadores para cidades resilientes

- Plano de gestão de riscos e desastres atualizados (existe ou não)
- Tempo médio de resposta a emergências (minutos)
- População em área de risco com monitoramento ativo (porcentagem da população)
- Infraestruturas adaptadas a eventos extremos (porcentagem adaptada)
- Simulados de treinamento de emergência (número por ano)

Existem centenas de indicadores disponíveis, cada qual com uma finalidade específica. Cabe à cidade definir quais são os melhores indicadores de desempenho para o seu caso e criar um banco de dados[3], que integrado são capazes de fornecer uma base para tomada de decisão pelos gestores municipais. A definição de que indicadores devem ser usados e quando, pode requerer conhecimento especializado, para compreender a utilidade e as fragilidades dos sistemas de indicadores que se pretende implantar em uma cidade[2].

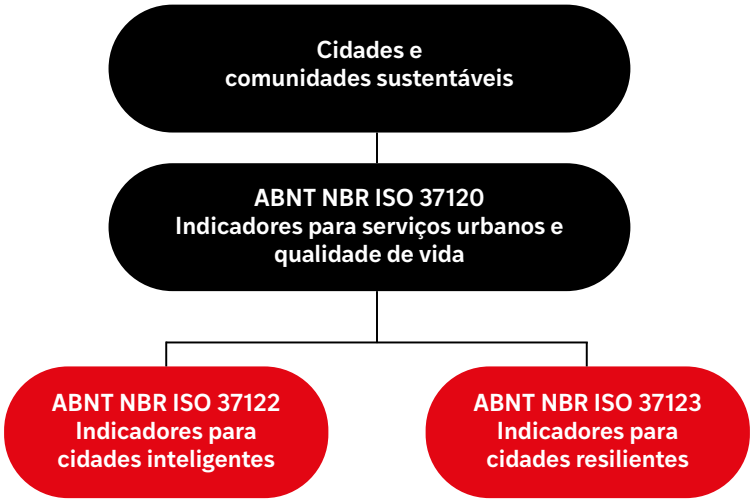
Organismos internacionais têm trabalhado na questão da padronização de indicadores para cidades sustentáveis, inteligentes e resilientes. Essa padronização é importante porque proporciona harmonização, confiabilidade, transparência nos métodos de cálculo e comparabilidade dos resultados.

A ISO (*International Organization for Standardization*) desenvolveu algumas normas, que trazem indicadores e como eles se relacionam entre si. Estas normas foram internalizadas no Brasil como normas ABNT NBR ISO.

C.3 Indicadores ISO

No conjunto de normas ABNT NBR ISO os indicadores de cidades inteligentes e resilientes estão atrelados a uma hierarquia de indicadores que se complementam (Figura C.3.1).

Figura C.3.1 – Relação entre família de normas para indicadores da cidade



ABNT NBR ISO 37120 - Indicadores para Serviços Urbanos e Qualidade de Vida.

A norma *ABNT NBR ISO 37120:2021 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida*[4], classifica os indicadores em três tipos:

- **Indicadores essenciais:** que são requeridos para demonstrar o desempenho da prestação de serviços urbanos e qualidade de vida;
- **Indicadores de apoio:** que são recomendados para demonstrar o desempenho da prestação de serviços urbanos e qualidade de vida. Estes indicadores podem ser selecionados de acordo com os objetivos da cidade;
- **Indicadores de perfil:** que são recomendados para fornecer estatísticas básicas e informações do contexto para auxiliar as cidades a realizar comparações entre pares. Indicadores de perfil são utilizados como uma referência informativa.

A norma *ABNT NBR ISO 37120:2021* trata de vários temas, sendo que cada tema corresponde a uma seção (Quadro C.3.1).

Quadro C.3.1 – Temas tratados pela ANBT NBR 37120 e suas seções[4]

Tema	Número da seção onde tema é tratado
Economia	5
Educação	6
Energia	7
Meio ambiente e mudanças climáticas	8
Finanças	9
Governança	10
Saúde	11
Habitação	12
População e condições sociais	13
Recreação	14
Segurança	15
Resíduos sólidos	16
Esporte e cultura	17
Telecomunicações	18
Transporte	19
Agricultura urbana/local e segurança alimentar	20
Planejamento urbano	21
Esgotos	22
Água	23

A norma *ABNT NBR ISO 37120:2021* traz para cada tema os indicadores essenciais, os indicadores de apoio e os indicadores de perfil e, também, aponta como devem ser obtidos. A título de ilustração, o Quadro C.3.2 apresenta esses indicadores para o tema Economia.

Quadro C.3.2 – Indicadores essenciais de apoio e de perfil para o tema economia[4]

Tema	Indicador essencial	Indicadores de apoio	Indicador de perfil
Economia	Taxa de desemprego da cidade	Valor de avaliação de propriedades comerciais e industriais como porcentagem do valor de avaliação total de todas as propriedades Porcentagem da população com emprego em tempo integral Taxa de desemprego de jovens Número de empresas por cem mil habitantes Número anual de estadias (pernoites) de visitantes por cem mil habitantes Conectividade aérea (número de partidas de voos comerciais sem escala)	Renda familiar média (US$) Taxa anual de inflação baseada na média dos últimos cinco anos Produto da cidade per capita (US$)

ABNT NBR ISO 37122 - Indicadores para Cidades Inteligentes

A norma *ABNT NBR ISO 37122:2020 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para cidades inteligente*[5] complementa a norma ABNT NBR ISO 37120, pois houve a necessidade de indicadores adicionais para cidades inteligentes. Ainda, estabelece indicadores com definições e metodologias para medir, considerando aspectos e práticos.

Essa norma trata de vários temas, sendo que cada tema corresponde a uma seção da norma, conforme apresentado no Quadro C.3.3.

Quadro C.3.3 – Temas tratados pela ANBT NBR 37122 e suas seções[5]

Tema	Número da seção onde tema é tratado
Economia	5
Educação	6
Energia	7
Meio ambiente e mudanças climáticas	8
Finanças	9
Governança	10
Saúde	11
Habitação	12
População e condições sociais	13
Recreação	14
Segurança	15
Resíduos sólidos	16
Esporte e cultura	17
Telecomunicações	18
Transporte	19
Agricultura local/urbana e segurança alimentar	20
Planejamento urbano	21
Esgotos	22
Água	23
Relatório e manutenção de registros	24

A norma *ABNT NBR ISO 37122* também traz os indicadores por tema de cada seção. A título de ilustração, o Quadro C.3.4 apresenta alguns indicadores para os temas Resíduos Sólidos (Seção 16 da norma), Esgotos (Seção 22 da norma) e Água (Seção 23 da norma).

Quadro C.3.4 – Indicadores para o tema Serviços da norma ABNT NBR ISO 37122[5]

Tema	Indicadores (subitem da seção)
Resíduos sólidos (item 16)	Porcentagem de centros de coleta (contêineres) de resíduos equipados com telemetria (16.1)
	Porcentagem da população da cidade que dispõe de coleta de lixo porta a porta com monitoramento individual das quantidades de resíduos domésticos (16.2)
	Porcentagem da quantidade total de resíduos da cidade empregada para gerar energia (16.3)
	Porcentagem da quantidade total de resíduos plásticos reciclados na cidade (16.4)
	Porcentagem das lixeiras públicas que são dotadas de sensores (16.5)
	Porcentagem de resíduos elétricos e eletrônicos da cidade que são reciclados (16.6)
Esgoto (item 22)	Porcentagem de águas residuais tratadas que é reutilizada (22.1)
	Porcentagem de biossólidos que são reutilizados (22.2)
	Energia derivada de águas residuais como porcentagem de consumo de energia total (22.3)
	Porcentagem da quantidade total de águas residuais da cidade que é empregada para geração de energia (22.4)
	Porcentagem da rede de coleta de esgotos que é monitorada em tempo real por sistema de sensores (22.5)
Água (item 23)	Porcentagem da água potável cuja qualidade é monitorada em tempo real por estações remotas (23,1)
	Número de estações de monitoramento de qualidade da água ambiental em tempo real por 100 000 habitantes. (23.2)
	Porcentagem da rede de distribuição de água da cidade monitorada por sistemas inteligentes (23.3

A norma *ABNT NBR ISO 37122:2020* traz, em seu Anexo B, um mapeamento dos seus indicadores para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS). Para cada um dos 17 ODS são apresentados os indicadores correspondentes, varrendo todos os temas da norma.

ABNT NBR ISO 37123 - Indicadores para Cidades Resilientes

A norma *ABNT NBR ISO 3713:2021 – Cidades e Comunidades Sustentáveis – Indicadores para cidades resilientes*[6] complementa a norma ABNT NBR IS 37120, pois embora esta, como primeira norma da série, contenha indicadores importantes para o planejamento resiliente e avaliação de uma cidade, foi identificada a necessidade de mais indicadores para cidades resilientes, que constam na norma ABNT NBR ISO 37123 e ajudam as cidades a: se prepararem, se recuperarem e se adaptarem para quando ocorrerem choques e tensões; e aprenderem umas com as outras pela comparação entre uma vasta gama de medidas de desempenho e compartilhamento de boas práticas.

A norma *ABNT NBR ISO 3713:2021* trata de temas divididos em seções, conforme apresentado no Quadro C.3.5.

Quadro C.3.5– Temas tratados pela ANBT NBR 37123 e suas seções[6]

Tema	Número da seção onde tema é tratado
Economia	5
Educação	6
Energia	7
Meio ambiente e mudanças climáticas	8
Finanças	9
Governança	10
Saúde	11
Habitação	12
População e condições sociais	13
Recreação	14
Segurança	15
Resíduos sólidos	16
Esporte e cultura	17
Telecomunicações	18
Transporte	19
Agricultura urbana/local e segurança alimentar	20
Planejamento urbano	21
Esgotos	22
Água	23
Relatório e manutenção de registros	24

A norma ABNT NBR ISO 37123:2021 traz os indicadores referentes a cada tema, com definições e metodologias para medir. Também traz informações de utilidade em seus anexos, a seguir indicados:

- Anexo A, apresenta uma tipologia de ameaças enfrentadas por cidades, como caráter informativo;
- Anexo B, apresenta como os indicadores constantes na norma se relacionam com as principais etapas do processo de gerenciamento de risco (contexto do risco, avaliação de riscos, tratamento do risco, cooperação e consulta, monitoramento e revisão);
- Anexo C, apresenta como os indicadores constantes na norma estão relacionados aos principais elementos do processo de gerenciamento de desastres (minimização, preparação, resposta, recuperação/reconstrução);
- Anexo D, apresenta um mapeamento dos indicadores da norma para os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS).

C.4 Considerações

Os indicadores de desempenho são inúmeros e a escolha de quais usar é um grande desafio para os gestores municipais, que têm à sua frente um leque diversificado, advindo de referências normativas, de artigos técnicos e de práticas empregadas.

Os gestores municipais não devem se impressionar com a quantidade de indicadores. Ter muitos indicadores implantados não necessariamente significa ter dados de utilidade. Melhor procurar aqueles que trarão repostas confiáveis e consistentes, que possam ser utilizadas ao longo do tempo para, de fato, acompanhar a evolução da cidade.

Referências Bibliográficas

1. KLOPPA, J. M; PETRETTAB, D. The urban sustainable development goal: Indicators, complexity and the politics of measuring cities. **Cities,** v. 63, p. 92–97, Mar. 2017.

2. HUOVILA, A.; BOSCH, P.; AIRAKSINEN, M. Comparative analysis of standardized indicators for smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when? **Cities,** v. 89, p. 141-153, June 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275118309120. Acesso em: 19 abr. 2025.

3. KHATIBI, H.; WILKINSON, S.; DIANAT, H.; BAGHERSAD, M.; GHAEDI, K.; JAVANMARDI, A. Indicators bank for smart and resilient cities: design of excellence. **Built Environment Project and Asset Management,** v. 12, n. 1, p. 5-19, 2022. Doi: https://doi.org/10.1108/BEPAM-07-2020-0122

4. ABNT. **NBR ISO 37120:2021:** Cidades e comunidades sustentáveis. Indicadores para serviços urbanos e qualidade de vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 25.04.2025.

5. ABNT. **NBR ISO 37122:2020. Versão corrigida 2021**. Cidades e comunidades sustentáveis. Indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2020. Disponível em: https://www abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 25.04.2025.

6. ABNT. **NBR ISO 37123:2021:** Cidades e comunidades sustentáveis. Indicadores para cidades resilientes. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/grd.aspx. Acesso em: 25.04.2025.

Secretaria de
Desenvolvimento Econômico

SÃO PAULO
GOVERNO DO ESTADO
SÃO PAULO SÃO TODOS