

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

DANILO DO ROSÁRIO E SILVA

UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA REDUÇÃO DE
PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

SÃO PAULO

2025

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

DANILO DO ROSÁRIO E SILVA

UTILIZAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA REDUÇÃO DE
PERDAS DE ÁGUA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

Trabalho submetido como exigência parcial
para a obtenção do Grau de Tecnólogo em
Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

Orientador: Prof. Maurício Amaral de
Almeida

SÃO PAULO

2025

*Dedico à todos que me ajudaram
no caminho que percorri, que me deram
força e coragem para continuar sempre.
Agradeço aos professores pela paciência
e por transmitirem seu conhecimento. E
aos amigos por tornarem esse percurso
tão agradável e enriquecedor.*

RESUMO

A crescente escassez de recursos hídricos e os altos índices de perdas em sistemas de abastecimento de água no Brasil tornaram-se preocupações centrais para empresas de saneamento e gestores públicos. Este trabalho explora como a Inteligência Artificial (IA), em especial o Machine Learning, pode contribuir significativamente para a redução dessas perdas, por meio da detecção precoce e precisa de vazamentos, otimização da manutenção e previsão de consumo. Foi realizado um estudo de caso sobre a aplicação do sistema 4Fluid, desenvolvido pela startup Status4, que utiliza análise acústica e algoritmos de IA para identificar vazamentos ocultos em redes de distribuição. Os resultados indicam que o uso da IA proporciona melhorias substanciais na eficiência operacional, economia de custos e sustentabilidade ambiental. Conclui-se que a tecnologia é uma aliada estratégica no combate ao desperdício de água e um importante instrumento para a modernização do setor de saneamento no Brasil.

Palavras-chave: Abastecimento de água, Inteligência Artificial, Perdas, Machine Learning, Saneamento.

ABSTRACT

The growing scarcity of water resources and the high levels of losses in water supply systems in Brazil have become central concerns for sanitation companies and public managers. This study explores how Artificial Intelligence (AI), particularly Machine Learning, can significantly contribute to reducing these losses through early and accurate leak detection, maintenance optimization, and consumption forecasting. A case study was conducted on the application of the 4Fluid system, developed by the startup Status4, which uses acoustic analysis and AI algorithms to detect hidden leaks in distribution networks. The results indicate that the use of AI leads to substantial improvements in operational efficiency, cost savings, and environmental sustainability. It is concluded that this technology is a strategic ally in the fight against water waste and an important tool for modernizing the sanitation sector in Brazil.

Key words: Water supply, Artificial Intelligence, Losses, Machine Learning, Sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Sistema de Captação.....	14
Figura 2-2 – Tipos de Mananciais	15
Figura 2-3 – Formas de Captação.....	17
Figura 2-4 – Tipos de Reservatórios	21
Figura 2-5 - Causas das Perdas Reais e Aparentes	25
Figura 2-6 - Componentes das perdas reais	26
Figura 2-7 – Ações de Combate às Perdas Reais	27
Figura 2-8 – Ações de Combate às Perdas Aparentes	29
Figura 2-9 - Perdas na Distribuição de água – Índice médio por Estado.	31
Figura 2-10 - Perdas de água por ligação ativa – Índice médio por região	32
Figura 2-11 - Relação da Inteligência Artificial e Machine Learning.....	33
Figura 2-12 – Tela do Sistema 4Fluid com informações compiladas	37
Figura 2-13 – Gráficos gerados no Sistema 4Fluid	37
Figura 2-14 – Mapa com pontos verificados em campo.....	38
Figura 2-15 – Mapa com vazamentos localizados em pontos vermelhos	39
Figura 2-16 - Geofonista realizando coleta de sons no Hidrômetro do imóvel	40
Figura 2-17 – Geofonistas realizando varredura noturna.....	41
Figura 2-18 – Fluxo de trabalho da inteligência artificial para detectar vazamentos .	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Matriz de Avaliação pelo Balanço Hídrico	24
Tabela 2-2 - Características Principais de Perdas Reais e Perdas aparentes	28
Tabela 2-3 - Áreas envolvidas para Gestão de Perdas	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IA	Inteligência Artificial
IWA	Internacional Water Association
ML	Machine Learning
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

	p.
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Caracterização de um SAA	13
2.1.1. Mananciais	14
2.1.1.1. Mananciais Superficiais.....	15
2.1.1.2. Mananciais Subterrâneos	16
2.1.1.3. Mananciais de águas meteóricas	16
2.1.2. Captação	16
2.1.3. Adução.....	18
2.1.4. Estações elevatórias ou Bombeamento.....	18
2.1.5. Tratamento.....	19
2.1.6. Reservatórios	19
2.1.7. Rede de distribuição.....	21
2.2. Perdas de água em Sistemas de Abastecimento	22
2.2.1. Definição de Perdas de água.....	23
2.2.2. Perdas Reais e Aparentes	24
2.2.2.1. Perdas Reais ou Físicas	26
2.2.2.2. Perdas não físicas ou aparentes	27
2.2.3. Gestão de Perdas.....	29
2.2.3.1. Panorama atual	31
2.3. Machine Learning	33
2.3.1. Como funciona o Machine Learning	34
2.4. Utilização de Machine Learning na Redução de Perdas de água	35
2.4.1. Sistema 4Fluid Móvel.....	36
2.5. Aplicação do Sistema 4Fluid em uma Companhia de Abastecimento	39
2.5.1. O trabalho antes do uso da inteligência artificial	40
2.5.2. Ajuda da Inteligência artificial na execução da varreduras.....	41

2.5.3. Trabalho do Geofonista	42
2.5.4. A importância de localizar os vazamentos	43
3. CONCLUSÃO	45
4. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A água constitui-se como um elemento essencial à vida humana, animal e vegetal. O homem tem a necessidade de água, seja para uso próprio (abastecimento doméstico), seja para irrigação, recreação e lazer, navegação, uso na indústria, ou seja, é fundamental não só para abastecimento doméstico como para o desenvolvimento econômico

O sistema de abastecimento de água reflete diretamente na questão econômica de uma região, uma vez que se traduz em um aumento de vida média da população servida, na diminuição de doenças e na maior produtividade por parte dos trabalhadores.

Um Sistema de Abastecimento de Água pode caracterizar-se pela retirada da água do manancial (natureza), tratamento (adequação aos padrões de potabilidade), transporte até os reservatórios e a rede de distribuição, cuja finalidade é conduzir a água à população em quantidade demandada, de acordo com suas necessidades.

Um sistema de Abastecimento possui perdas de água e podem ser classificadas em físicas e aparentes. As físicas são vazamentos nas tubulações ou conexões, enquanto as aparentes envolvem fraudes ou erros de medição. Esses problemas geram impactos ambientais, devido ao desperdício de recursos hídricos, e econômicos, pela perda de receita das empresas. Para minimizar essas perdas, é fundamental investir na modernização das redes, implementar tecnologias de monitoramento e controle de vazamentos, além de melhorar a fiscalização e incentivar o uso consciente da água pelos consumidores.

As perdas de água em sistemas de abastecimento representam um dos maiores desafios para as companhias de saneamento. A aplicação de soluções baseadas em Inteligência Artificial (IA) surge como uma alternativa promissora para mitigar essas perdas, aumentando a eficiência operacional e reduzindo custos. Este trabalho propõe uma análise do uso de IA em diferentes fases da gestão de perdas de água, desde a detecção de vazamentos até a previsão de consumo. Através de

uma revisão bibliográfica será investigado como essas tecnologias podem ser aplicadas de forma eficaz em sistemas de abastecimento de água.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caracterização de um SAA

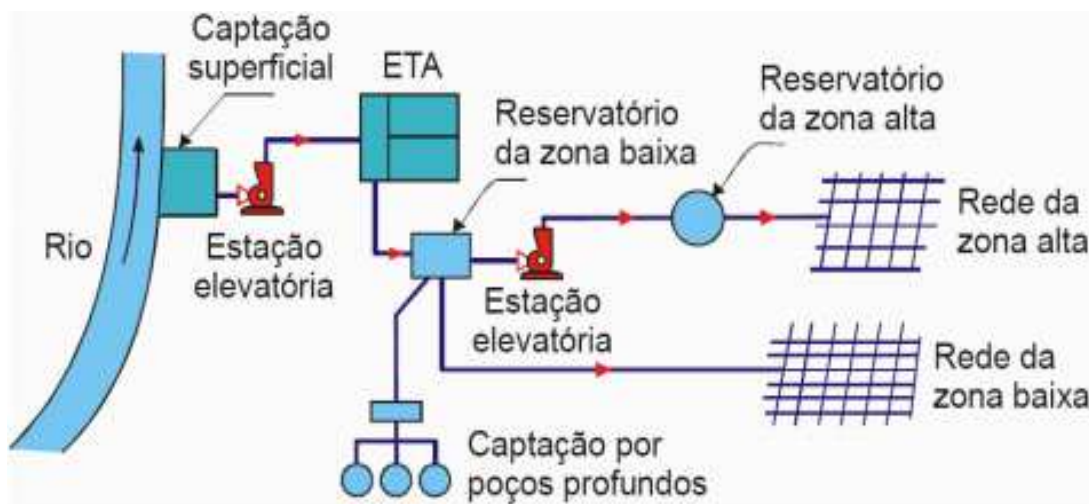
A função de um SAA (Sistema de Abastecimento de Água) é servir a população a que está destinada e para a qual foi concebida, garantindo uma distribuição de água eficiente, com qualidade e dentro da pressão admissível. Para isso, o sistema deve ser projetado e operado de forma a assegurar a continuidade do fornecimento, minimizando perdas e atendendo às demandas hídricas da comunidade. Além disso, é fundamental que o SAA esteja em conformidade com normas técnicas e padrões de potabilidade, garantindo a segurança sanitária da água distribuída. A manutenção preventiva, a modernização da infraestrutura e a gestão sustentável dos recursos hídricos também são aspectos essenciais para a eficiência e a longevidade do sistema.

Um sistema de abastecimento de água é composto, conforme Netto (1989) por:

- Manancial: é um corpo de água superficial ou subterrâneo;
- Captação: a água é retirada de água do manancial (estão inseridas aqui: barragens de nível, tomada de água, dentre outros);
- Adução: é o transporte dá água de um ponto a outro, no caso, seria o trecho no qual a água vai por gravidade ou por bombeamento até uma estação elevatória;
- Casa de bombas: na maioria dos casos, os mananciais se encontram nos pontos baixos, sendo necessária uma bomba (booster) para dar potência à água para que a mesma ganhe força para ir à próxima etapa;
- Adução: é o transporte dá água, por recalque, da casa de bombas até o local para tratamento;
- Tratamento: adequa-se ao uso previsto;
- Reservação: a água tratada é mantida em reservatórios enterrados, semi-enterrados, apoiados ou elevados para ir à distribuição e;
- Rede de distribuição: é um sistema constituído por um conjunto de tubulações que conduzem a água para consumidor final.

A Figura 2-1 exemplifica um sistema de abastecimento de água desde de sua captação até a distribuição para o consumidor final.

Figura 2-1 - Sistema de Captação



Fonte: Orsini, 1996 (apud Tsutyia, 2006).

2.1.1. Mananciais

Os mananciais desempenham um papel fundamental nos sistemas de abastecimento de água, por constituírem as fontes naturais de onde se extrai a água destinada ao consumo humano. Para serem considerados adequados ao abastecimento, os mananciais devem apresentar condições sanitárias satisfatórias, além de vazão suficiente, individualmente ou em conjunto, para suprir a demanda máxima prevista em determinado período.

De acordo com sua origem, os mananciais utilizados para o abastecimento podem ser classificados em três categorias principais: superficiais, subterrâneos e águas meteóricas. Essa classificação auxilia na definição das estratégias de captação, tratamento e gestão dos recursos hídricos. (FUNASA, 2016).

Na Figura 2-2 é apresentado os tipos de mananciais, sendo o manancial superficial e subterrâneo os mais utilizados atualmente.

Figura 2-2 – Tipos de Mananciais



Fonte: FUNASA (2016).

2.1.1.1. Mananciais Superficiais

De acordo com Funasa (2019), as águas que escoam e se acumulam na superfície terrestre podem ser aproveitadas como mananciais para sistemas de abastecimento público. Os mananciais superficiais englobam corpos d'água doce como córregos, ribeirões, rios, lagos naturais e reservatórios artificiais, tais como açudes e represas.

Em situações específicas, as águas oceânicas também podem ser utilizadas como fonte de abastecimento, especialmente em regiões onde a disponibilidade de água doce é limitada ou de difícil acesso. Exemplos incluem países localizados no Oriente Médio, na Austrália, no Caribe, além de embarcações como navios transatlânticos e submarinos. (FUNASA, 2019).

Segundo Funasa (2019), nessas circunstâncias, a obtenção de água potável é realizada por meio de processos de dessalinização. Apesar de eficazes, essas tecnologias enfrentam desafios relacionados ao elevado consumo energético e ao alto custo de implantação e operação das plantas dessalinizadoras. Por essa razão, a

água obtida por dessalinização tende a ser mais cara do que aquela proveniente de fontes superficiais continentais ou subterrâneas.

2.1.1.2. Mananciais Subterrâneos

Os mananciais subterrâneos são formados por reservatórios de água localizados abaixo da superfície terrestre, sendo constituídos pelos aquíferos freáticos e os aquíferos profundos. A captação dessas reservas hídricas é realizada por meio de diferentes estruturas, tais como poços rasos ou profundos, poços escavados ou tubulares, galerias de infiltração, barragens subterrâneas, além do aproveitamento das nascentes naturais, também conhecidas como fontes de encosta. (FUNASA, 2019).

2.1.1.3. Mananciais de águas meteóricas

As águas meteóricas são aquelas presentes na atmosfera em seus diferentes estados físicos. Quando se precipitam na forma de chuva, neve, granizo ou orvalho, podem ser utilizadas para diversos fins, inclusive para o consumo. Dentre essas, a água da chuva é a mais comumente aproveitada. Contudo, há também pesquisas voltadas ao aproveitamento da umidade atmosférica por meio da coleta de neblina e orvalho, destacando novas possibilidades de obtenção de recursos hídricos. (FUNASA, 2019).

2.1.2. Captação

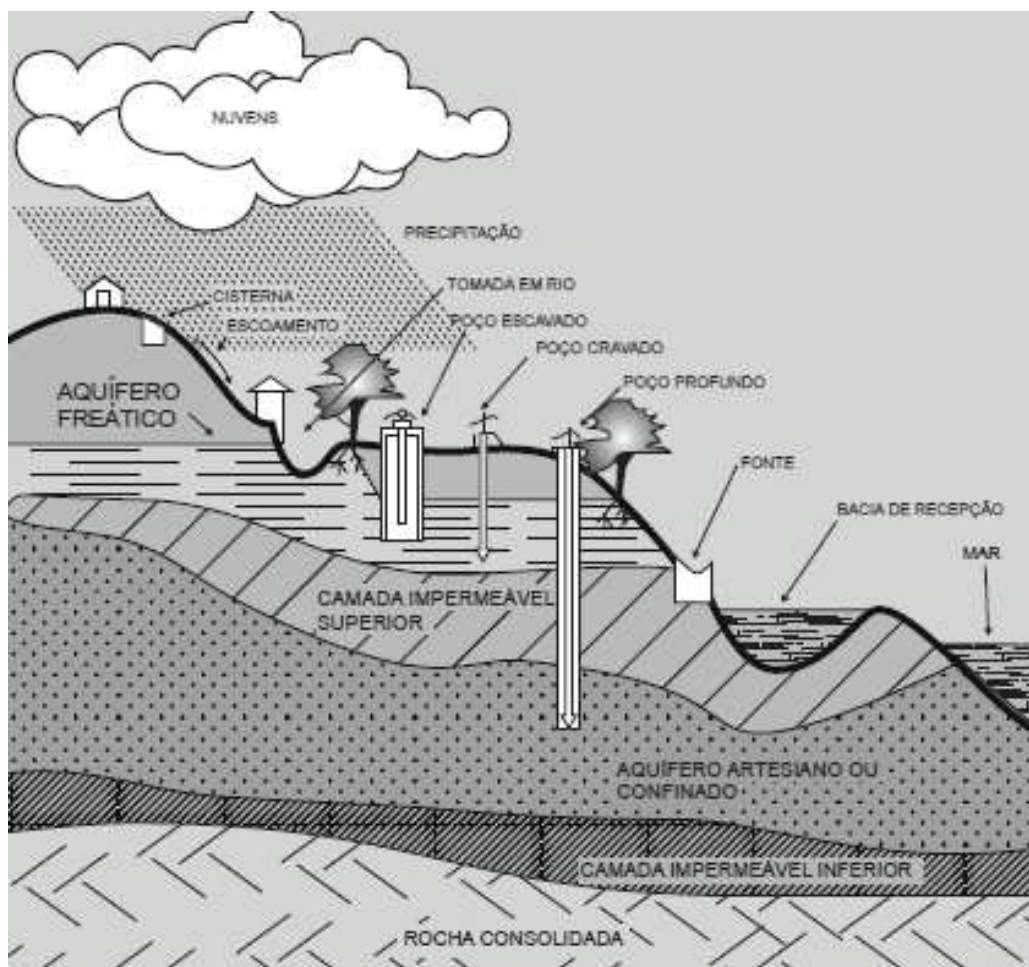
De acordo com Ectas (2025), um sistema de captação de água consiste no conjunto de estruturas e processos destinados à coleta de água proveniente de diferentes fontes, como rios, aquíferos subterrâneos ou precipitação pluvial, com o objetivo de atender a demandas específicas de consumo. Trata-se da etapa inicial em um sistema mais amplo, que pode incluir tratamento, armazenamento e distribuição da água.

Além de contribuir para a autossuficiência hídrica, esses sistemas favorecem o uso racional dos recursos naturais, promovendo a redução de desperdícios e o

aumento da eficiência no aproveitamento hídrico. Por essa razão, são frequentemente empregados em projetos que priorizam a sustentabilidade ambiental e a gestão eficiente da água.

A definição do sistema de captação mais adequado está condicionada a uma série de fatores, entre os quais se destacam a localização geográfica, o volume de água necessário e as características de qualidade da fonte hídrica. Independentemente do contexto de aplicação, os sistemas de captação representam um elemento fundamental na gestão hídrica contemporânea. (ECTAS, 2025). Na Figura 2-3, é possível verificar as formas de captação de água.

Figura 2-3 – Formas de Captação.



Fonte: FUNASA (2019).

2.1.3. Adução

Segundo Funasa (2016), as adutoras são canalizações responsáveis pelo transporte de água entre as unidades operacionais que antecedem a rede de distribuição. Diferentemente das tubulações que compõem a malha de distribuição urbana, as adutoras não possuem derivações destinadas ao abastecimento direto de distribuidores de rua ou ramais prediais.

Em alguns casos, no entanto, podem ser implementadas ramificações secundárias, conhecidas como subadutoras, que têm a função de conduzir água a pontos fixos específicos dentro do Sistema de Abastecimento de Água (SAA).

Devido à sua função estratégica, as adutoras representam elementos essenciais para o funcionamento do sistema de abastecimento, especialmente quando constituem uma única linha de condução, situação comum em grande parte dos sistemas. Nesses casos, qualquer interrupção no funcionamento das adutoras pode comprometer significativamente o fornecimento de água, afetando toda a população atendida. (FUNASA, 2016).

2.1.4. Estações elevatórias ou Bombeamento

Conforme Funasa (2016), as Estações Elevatórias (EE) são instalações responsáveis pelo bombeamento de água, seja ela bruta ou tratada, com o objetivo de possibilitar seu transporte para locais mais distantes ou em cotas altimétricas superiores. Além disso, também podem ser utilizadas para aumentar a vazão em linhas adutoras. De acordo com sua finalidade e relevância dentro do sistema de abastecimento, as Estações Elevatórias podem desempenhar diferentes funções, tais como:

- Captar água de mananciais superficiais ou subterrâneos, incluindo poços rasos e profundos;
- Elevar a pressão nas redes, viabilizando o fornecimento de água a regiões mais distantes ou situadas em maiores altitudes;

- Aumentar a vazão nos sistemas de adução.

A localização das Estações Elevatórias varia conforme as condições do projeto e as características locais. Frequentemente, são instaladas após a Estação de Tratamento de Água (ETA), com a finalidade de bombear a água tratada até os reservatórios. No entanto, também podem ser implantadas entre reservatórios ou em trechos específicos da rede de distribuição. Nesses casos, utilizam-se dispositivos conhecidos como pressurizadores de rede do tipo “booster”. (FUNASA, 2016).

2.1.5. Tratamento

Segunda Funasa (2019), o tratamento de água tem como objetivo aprimorar suas características organolépticas, físicas, químicas e microbiológicas, tornando-a própria e segura para o consumo humano.

Do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser, em princípio, transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo d’água como fonte de abastecimento. Existe uma relação intrínseca entre o meio ambiente e as tecnologias de tratamento, isto é, em função da qualidade da água de um determinado manancial e suas relações com o meio ambiente, há tecnologias específicas para que o tratamento seja eficientemente realizado. (FUNASA, 2019).

2.1.6. Reservatórios

De acordo com Funasa (2016), os reservatórios são componentes hidráulicos fundamentais nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), com a função de acumular e regular a passagem da água. Normalmente, são instalados em pontos estratégicos da rede, visando atender às seguintes finalidades:

- Assegurar a disponibilidade de água para demandas de equilíbrio, emergenciais e de combate a incêndios;

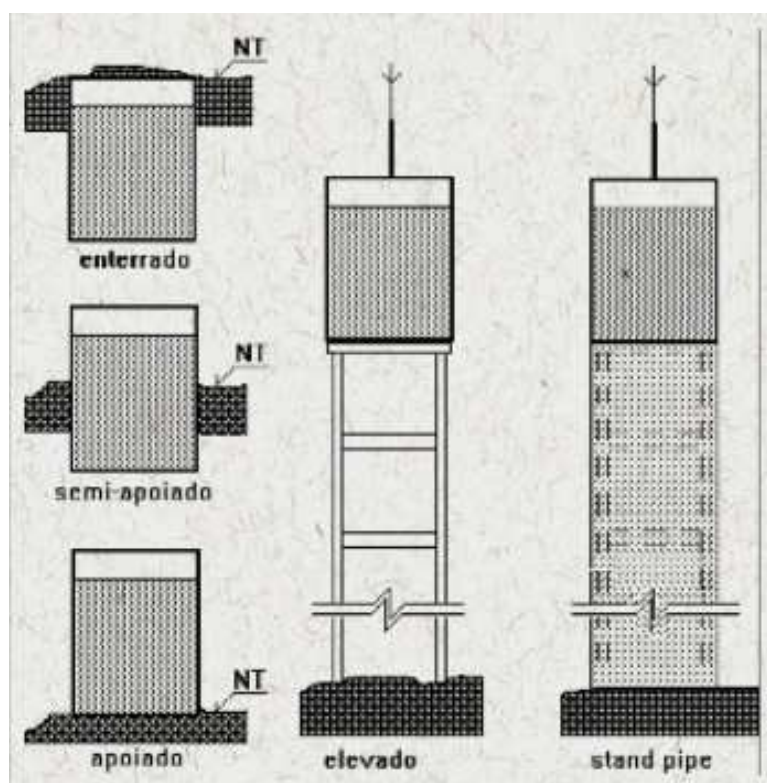
- Garantir a constância da vazão e da altura manométrica no sistema de adução;
- Permitir a utilização de menores diâmetros nas tubulações do sistema;
- Proporcionar melhores condições de pressão na rede de distribuição.

Ainda segundo Funasa (2016), o dimensionamento dos reservatórios deve considerar a necessidade de manter a vazão e a altura manométrica do sistema de adução constantes. Para isso, os reservatórios devem ser capazes de armazenar volumes excedentes de água nos períodos em que a produção supera a demanda e, inversamente, liberar água acumulada quando a demanda ultrapassa a capacidade de fornecimento da rede. Quanto à sua classificação, os reservatórios podem ser categorizados de acordo com sua posição em relação ao nível do solo:

- Enterrado: inteiramente embutido no terreno;
- Semienterrado ou semiapoiado: parcialmente abaixo do nível do solo, com parte da estrutura visível;
- Apoiado: construído com a laje de fundo diretamente apoiada sobre o terreno;
- Elevado: sustentado por estruturas de elevação, posicionando o reservatório acima do nível do solo;
- Stand pipe: tipo de reservatório elevado cuja estrutura de sustentação é incorporada à própria edificação, conferindo um perímetro contínuo à seção transversal.

Na Figura 2-4 é demonstrado os tipos de reservatórios que foram citados anteriormente:

Figura 2-4 – Tipos de Reservatórios



Fonte: Mídia Didital (apud FUNASA, 2016).

2.1.7. Rede de distribuição

De acordo com Funasa (2016), a rede de distribuição consiste no conjunto de tubulações e peças especiais destinadas a conduzir a água tratada desde os reservatórios até as ligações prediais ou pontos de consumo público, garantindo um fornecimento contínuo, seguro e eficiente. Essa rede é composta por dois tipos principais de condutos:

- Condutos principais: também conhecidos como troncos ou condutos mestres, são tubulações de maior diâmetro responsáveis por transportar grandes volumes de água, alimentando os condutos secundários.
- Condutos secundários: apresentam menor diâmetro e estão diretamente conectados às edificações a serem abastecidas, sendo responsáveis pela distribuição final da água tratada aos consumidores.

Para que o traçado dos condutos principais resulte em menor custo de implantação e manutenção, é essencial considerar alguns fatores durante o planejamento, tais como: o tipo de pavimentação das vias públicas, a preferência por ruas com menor fluxo de veículos, a proximidade de grandes consumidores e a facilidade de acesso para manutenções futuras. (FUNASA, 2016).

2.2. Perdas de água em Sistemas de Abastecimento

De acordo com Sobrinho (2012), a urbanização acelerada e desordenada no Brasil, associada à carência de políticas públicas eficazes para atender à crescente demanda por infraestrutura e serviços essenciais, tem resultado em impactos ambientais significativos, sobretudo na poluição dos recursos hídricos. Esse cenário compromete a qualidade da água para diferentes usos e intensifica a escassez desse recurso natural, essencial para a manutenção da vida e das atividades econômicas. Além disso, a ausência de um planejamento adequado agrava problemas socioambientais, como o déficit no saneamento básico, a contaminação de rios e mananciais e a dificuldade de acesso à água potável por parte da população.

O modelo de desenvolvimento econômico adotado, caracterizado por um alto padrão de consumo, a intensificação da produção industrial e o crescimento populacional desordenado, tem contribuído para o aumento expressivo da demanda por água, principalmente nas grandes cidades. Esse fenômeno é potencializado pelo desperdício e pela má gestão dos recursos hídricos, resultando em uma crise que afeta tanto o abastecimento quanto a qualidade da água disponível. (SOBRINHO, 2012).

Em muitos países, o crescimento econômico tem sido acompanhado por desafios relacionados à gestão da água, e no Brasil não é diferente. O aumento populacional não apenas eleva os custos com infraestrutura hídrica, mas também amplia a pressão sobre os sistemas de captação, tratamento e distribuição de água. Além disso, a relação entre desenvolvimento urbano e recursos hídricos é recíproca: enquanto o crescimento desordenado das cidades intensifica a demanda por água, as políticas públicas voltadas para a gestão hídrica influenciam diretamente o planejamento urbano e o uso do solo. Dessa forma, as cidades enfrentam dois

desafios interdependentes: a necessidade de investimentos substanciais em infraestrutura para garantir o abastecimento e a preservação dos mananciais e a preocupação crescente com a disponibilidade de água para as gerações futuras. (SOBRINHO, 2012).

Diante desse contexto, torna-se fundamental a implementação de estratégias eficazes de gestão dos recursos hídricos, incluindo políticas de conservação, reuso da água, expansão do saneamento básico e diminuição de maneira significativa as perdas de água nos sistemas de abastecimento, a seguir será explanado mais detalhadamente tipos de perdas existentes.

2.2.1. Definição de Perdas de água

Segundo Perdas (2020), no processo de abastecimento de água por meio de redes de distribuição, podem ocorrer perdas do recurso hídrico devido a diversos fatores, como vazamentos, falhas na medição e consumos não autorizados. Essas perdas geram impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para a receita e os custos operacionais das empresas responsáveis pelo fornecimento, onerando o sistema como um todo e, conseqüentemente, afetando os consumidores. Dessa forma, o índice de perdas de água constitui um parâmetro essencial para avaliar a eficiência dos prestadores de serviço em atividades como distribuição, planejamento, investimentos e manutenção. Entretanto, a eliminação completa dessas perdas não é viável do ponto de vista técnico e econômico, existindo, portanto, um limite para sua redução.

Na literatura técnica, a metodologia amplamente adotada por prestadores e órgãos reguladores é a proposta pela *International Water Association (IWA)*, baseada em uma matriz que sistematiza os diferentes processos pelos quais a água percorre desde sua entrada no sistema, conhecida como Balanço Hídrico. O Balanço Hídrico tem como ponto de partida o volume de água produzido e inserido no sistema. No processo de distribuição, esse volume é classificado em consumo autorizado e perdas. O consumo autorizado refere-se à água fornecida a usuários regulares, independentemente de ser medida ou não. Já as perdas correspondem à diferença

entre o volume total de entrada e o consumo autorizado, evidenciando a quantidade de água desperdiçada ao longo do sistema. (PERDAS, 2020.).

Com o propósito de padronizar mundialmente o entendimento dos componentes dos usos da água em um sistema de abastecimento, a *International Water Association* (IWA) criou uma matriz de avaliação representada pelo Balanço Hídrico conforme

Tabela 2-1 abaixo.

Tabela 2-1 - Matriz de Avaliação pelo Balanço Hídrico

VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMO AUTORIZADO	CONSUMO AUTORIZADO FATURADO	CONSUMO MEDIDO FATURADO	ÁGUA FATURADA	
			CONSUMO NÃO MEDIDO FATURADO		
		CONSUMO AUTORIZADO NÃO FATURADO	CONSUMO MEDIDO NÃO FATURADO	ÁGUA NÃO FATURADA	
			CONSUMO NÃO MEDIDO NÃO FATURADO		
	PERDAS		CONSUMO NÃO AUTORIZADO (FRAUDE)		
			FALHA DO SISTEMA COMERCIAL		
		PERDAS APARENTES (COMERCIAIS)	SUBMEDIÇÃO DOS HIDRÔMETROS		
			VAZAMENTOS NAS ADUTORAS E REDES DE DISTRIBUIÇÃO		
		VAZAMENTOS NOS RAMAIS PREDIAIS			
	PERDAS FÍSICAS	VAZAMENTOS E EXTRAVASAMENTOS NOS RESERVATÓRIOS SETORIAIS E AQUEDUTOS			

Fonte: Adaptado European Commission, 2014 e ABES, 2015. (apud Gestão, 2025).

2.2.2. Perdas Reais e Aparentes

De acordo com Gestão (2025), a média nacional de perdas de água no Brasil gira em torno de 40%, considerando tanto as perdas reais (vazamentos e falhas na

infraestrutura) quanto as aparentes (fraudes, erros de medição, entre outras). Em determinadas regiões do país, esse índice ultrapassa 60%, o que evidencia um cenário crítico de ineficiência no sistema de distribuição de água tratada. Para se ter uma ideia da magnitude desse desperdício, estima-se que diariamente mais de sete mil piscinas olímpicas de água potável sejam perdidas antes mesmo de chegar ao consumidor final.

Além do impacto ambiental, as perdas de água também representam um prejuízo econômico significativo. Projeções indicam que a redução de apenas 20% nas perdas, ao longo de um período de 20 anos, resultaria em uma economia de aproximadamente R\$ 31 bilhões para o setor. Esse dado reforça a importância de investimentos em manutenção, modernização das redes de distribuição e combate às irregularidades.

Em contrapartida, diversas capitais ao redor do mundo apresentam índices de perdas bem inferiores, muitas vezes restritos a um dígito percentual. Esse contraste demonstra que é tecnicamente viável alcançar níveis mais baixos de perdas, desde que haja políticas públicas eficazes, tecnologias adequadas e uma gestão eficiente dos recursos hídricos.

Na Figura 2-5 é possível observar algumas causas de perdas no sistemas de abastecimento de água.

Figura 2-5 - Causas das Perdas Reais e Aparentes



Fonte: GESTÃO (2025).

2.2.2.1. Perdas Reais ou Físicas

Segundo Sabesp (2025), as perdas reais ou físicas de água, correspondem aos volumes que não são efetivamente consumidos devido a vazamentos ao longo do sistema de distribuição, desde as estações de tratamento até os pontos de entrega nos imóveis dos consumidores. Esses vazamentos ocorrem, principalmente, em decorrência do desgaste das tubulações ao longo do tempo e das elevadas pressões no sistema.

Os vazamentos podem ser classificados em duas categorias: visíveis e não visíveis conforme ilustrado na Figura 2-6. Os vazamentos visíveis manifestam-se na superfície do pavimento e das calçadas, sendo frequentemente identificados e reportados pela população, o que possibilita uma rápida atuação da empresa responsável pelo abastecimento. Já os vazamentos não visíveis permanecem ocultos abaixo da superfície, tornando sua detecção mais complexa. A localização desses vazamentos exige a aplicação de técnicas específicas, como a varredura das redes e ramais por meio de equipamentos baseados em métodos acústicos, os quais permitem identificar anomalias na infraestrutura hidráulica. (SABESP, 2025).

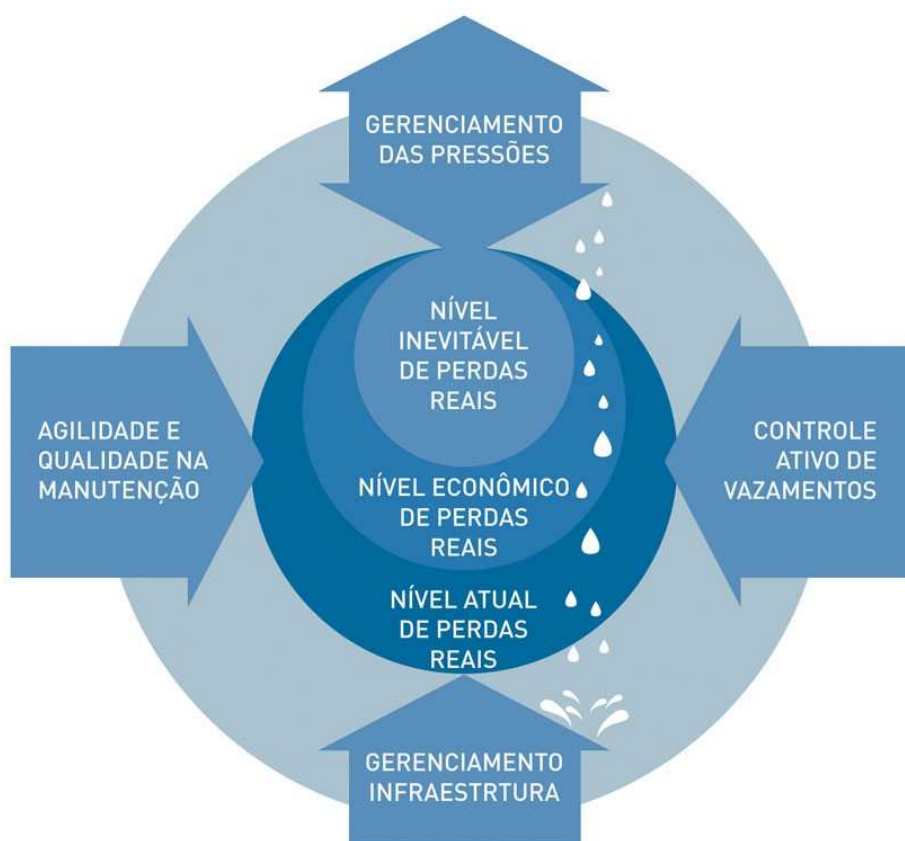
Figura 2-6 - Componentes das perdas reais



Fonte: SABESP (2025).

Essa distinção entre os tipos de vazamentos evidencia a importância da implementação de estratégias eficazes de monitoramento e manutenção preventiva, a fim de minimizar as perdas no sistema de abastecimento e garantir maior eficiência no uso dos recursos hídricos. Na Figura 2-7 é possível analisar algumas ações de combate às Perdas Reais.

Figura 2-7 – Ações de Combate às Perdas Reais



Fonte: ABES, 2015 (apud GESTÃO, 2025).

2.2.2.2. Perdas não físicas ou aparentes

As perdas não físicas, também denominadas perdas aparentes, referem-se aos volumes de água que, embora consumidos pelos usuários, não são devidamente registrados pelos sistemas de medição e, conseqüentemente, não são faturados pela empresa responsável pelo abastecimento. Essas perdas ocorrem, principalmente, em função de irregularidades como fraudes, ligações clandestinas popularmente conhecidas como “gatos”, bem como pela submedição decorrente do desgaste ou mau funcionamento dos hidrômetros, segundo Sabesp (2025).

Nesse contexto, as perdas aparentes representam essencialmente uma perda de receita para a empresa, não configurando, contudo, uma perda efetiva do recurso hídrico em si. O nível de perdas nos sistemas de abastecimento de água está diretamente associado às condições da infraestrutura instalada, bem como à eficiência operacional e comercial da prestadora do serviço.

Tabela 2-2 - Características Principais de Perdas Reais e Perdas aparentes

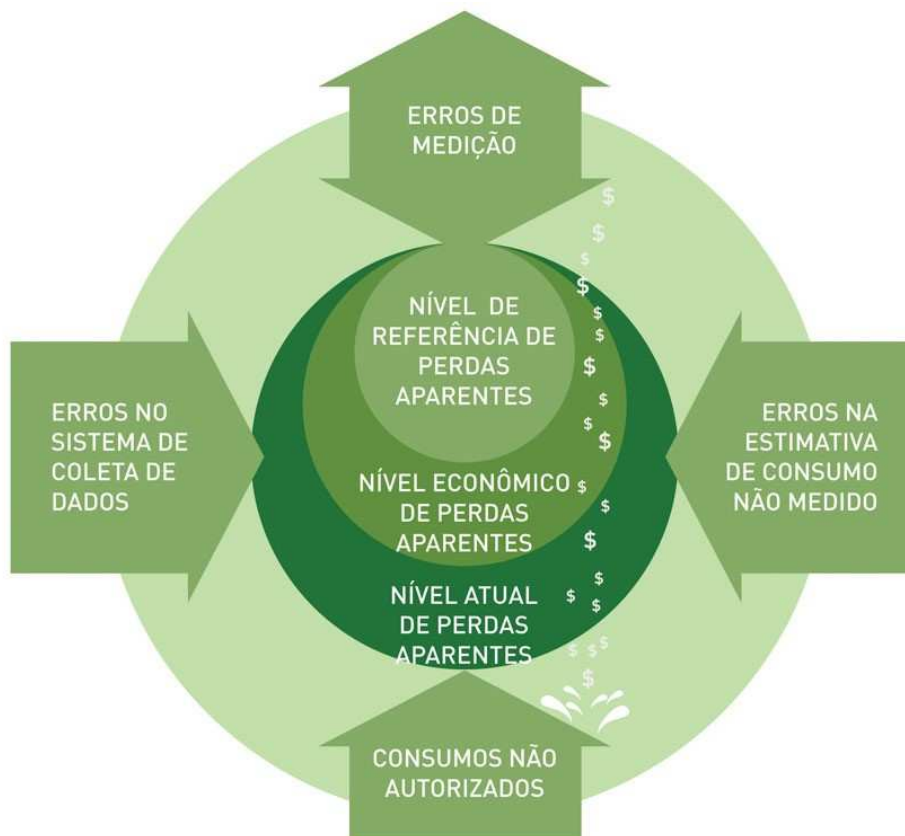
ITENS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	
	Perdas Reais	Perdas Aparentes
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de medição
Custos associados ao volume de água perdido	Custo de produção	- Tarifa - receita Operacional
Efeitos no Meio Ambiente	- Desperdício do Recurso Hídrico - Necessidade de ampliação de mananciais	-
Efeitos na Saúde Pública	Risco de contaminação	-
Empresarial	Perda do produto	Perda de receita
Consumidor	- Imagem negativa (ineficiência e desperdício)	-
Efeitos no Consumidor	- Repasse para tarifa - Desincentivo ao uso racional	- Repasse para tarifa - incitamento a roubos e fraudes

Fonte: GO Associados (apud PERDAS, 2020).

Importante destacar que não existe um sistema com perdas nulas. Todos os sistemas de abastecimento, independentemente da qualidade da infraestrutura, da operação ou da manutenção adotadas, estão sujeitos a algum grau de perda de água. (SABESP, 2025).

Na Figura 2-8 é possível analisar algumas ações de combate às Perdas Aparentes.

Figura 2-8 – Ações de Combate às Perdas Aparentes



Fonte: ABES, 2015 (apud GESTÃO, 2025).

2.2.3. Gestão de Perdas

O novo marco legal do saneamento básico estabeleceu diretrizes mais rigorosas para a gestão dos serviços de abastecimento de água, especialmente no que se refere à redução das perdas na distribuição. A Portaria nº 490/2021, emitida pelo Governo Federal, determina que os municípios somente poderão acessar recursos da União caso cumpram metas de eficiência no sistema de abastecimento, sendo exigido que o índice de perdas de água na distribuição seja reduzido para, no máximo, 25% até os anos de 2033/2034, conforme Gestão (2025).







As perdas de água representam um dos principais desafios enfrentados pelas concessionárias de saneamento, comprometendo tanto a sustentabilidade dos

recursos hídricos quanto a eficiência operacional e financeira das prestadoras de serviço. Diante dessa realidade, ao longo da última década, observou-se uma evolução significativa nas práticas de controle e gestão de perdas reais no Brasil, com a adoção de novas tecnologias, metodologias e estratégias que têm contribuído para a disseminação de uma cultura de eficiência no setor. (GESTÃO, 2025)

O Marco Legal do Saneamento Básico foi aprovado em 15 de julho de 2020, por meio da Lei nº 14.026/20, e tem como principal objetivo estruturar um ambiente de segurança jurídica, competitividade e sustentabilidade a fim de atrair novos investimentos para universalizar e qualificar a prestação dos serviços no setor.

Dentre as principais diretrizes, a legislação destaca ainda as ações voltadas a redução das perdas de água, estabelecendo a necessidade de atendimento de metas nos contratos relativos à prestação dos serviços de saneamento, além da definição de medidas para sua redução progressiva e controle. (GESTÃO, 2025).

Tabela 2-3 - Áreas envolvidas para Gestão de Perdas

	Políticos: envolvem questões relativas às entidades responsáveis pelos serviços, agências de governo, linhas de financiamento para o setor e a mídia.
	Econômicos: envolvem os custos dos volumes perdidos e não faturados, os custos operacionais (energia elétrica, produtos químicos no processo de potabilização da água etc.) e os investimentos para as ações de redução ou manutenção das perdas, importantes para a sustentabilidade das empresas.
	Sociais: envolvem o uso racional da água, o pagamento ou não pelos serviços, as questões de saúde pública e a imagem das operadoras perante a população.
	Tecnológicos: envolvem as interações entre o conhecimento técnico e as tecnologias, ferramentas e metodologias disponíveis para as atividades típicas do combate às perdas.
	Legais: envolvem a legislação para o setor, licenças e a respectiva regulação.
	Ambientais: envolvem a utilização e gestão de recursos hídricos e energéticos e impactos das obras de saneamento.

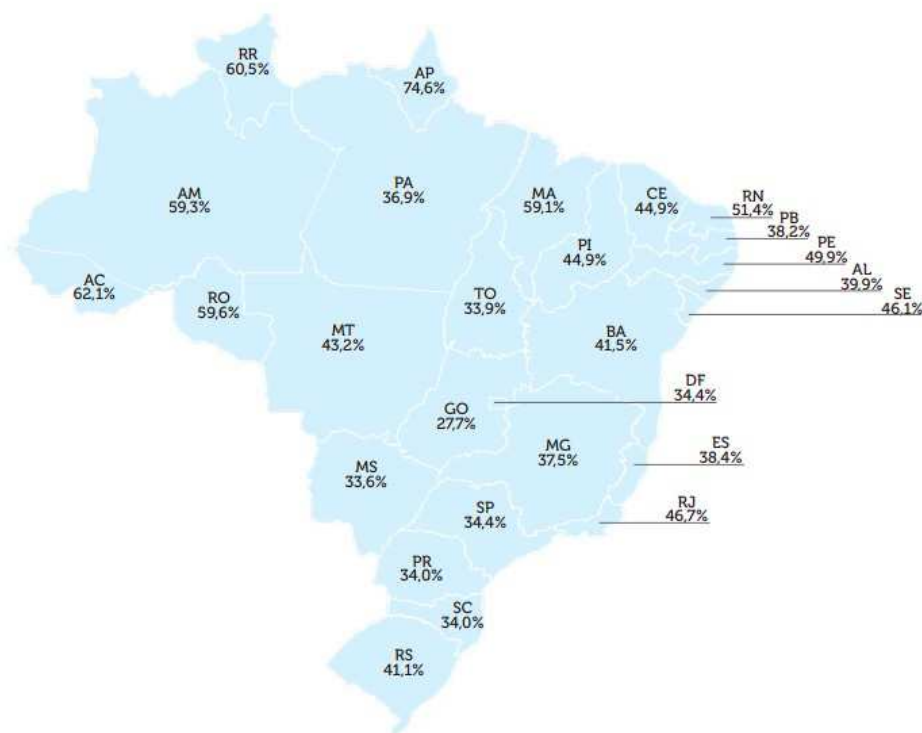
Fonte: Adaptado European Commission (apud GESTÃO, 2025).

As perdas de água não constituem apenas um problema de natureza técnica e econômica, limitado à atuação de operadoras locais ou regionais. Trata-se de uma questão de alcance mais amplo, cujas implicações se estendem para diversas esferas, gerando impactos significativos em aspectos demonstrados na Tabela 2-3, conforme Gestão (2025).

2.2.3.1. Panorama atual

As perdas de água configuram um significativo desperdício tanto de recursos naturais quanto financeiros. No processo de produção, essas perdas implicam em custos elevados com insumos químicos, maior consumo de energia elétrica para o bombeamento, além de demandarem mais investimentos em manutenção da rede e dos equipamentos. Do ponto de vista ambiental, o desperdício representa uma exploração dos recursos hídricos além do necessário, o que acarreta custos adicionais para mitigar os impactos negativos decorrentes do abastecimento. (GESTÃO, 2025).

Figura 2-9 - Perdas na Distribuição de água – Índice médio por Estado.

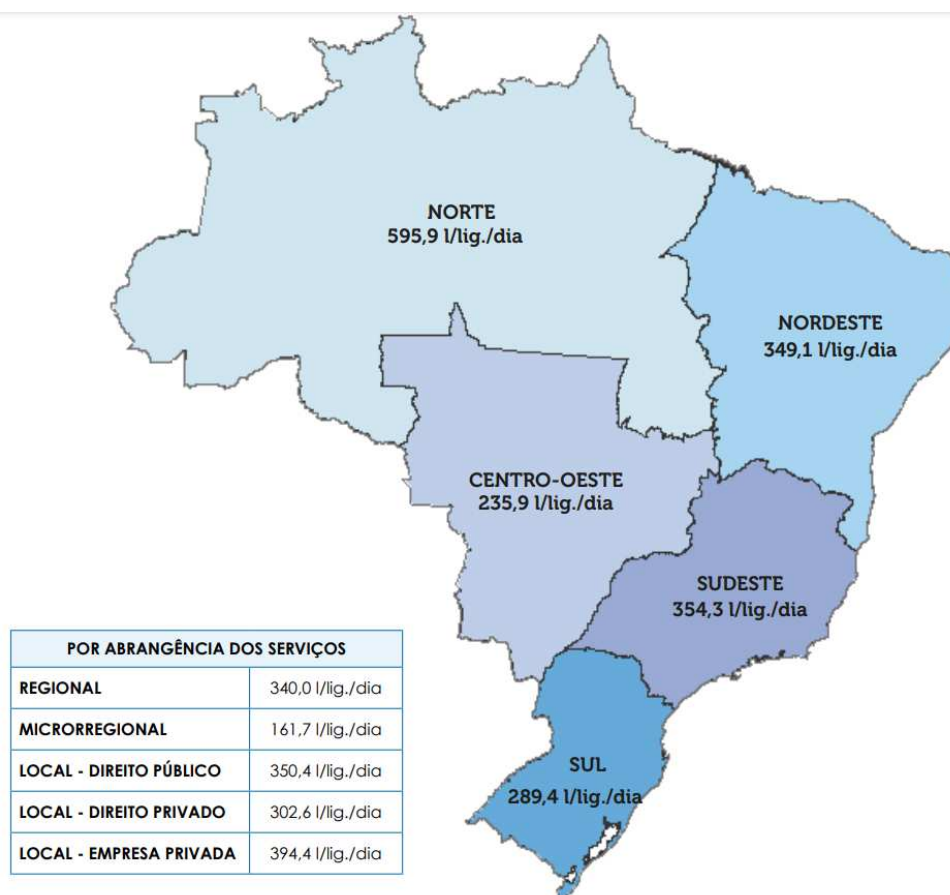


Fonte: SNIS,2020 (apud Gestão, 2025).

De acordo com SNIS (2020, apud, GESTÃO, 2025) o índice de perdas na distribuição de água alcançou 40,1%. Esse valor reflete uma tendência de crescimento contínuo após um período de relativa estabilidade registrado entre os anos de 2012 e 2015, quando o índice chegou a ficar abaixo de 37,0%. Em termos práticos, esse percentual indica que, a cada 100 litros de água disponibilizados pelas concessionárias de serviços de abastecimento, apenas 59,9 litros são efetivamente registrados como consumidos pelos usuários. Na Figura 2-9, podemos verificar a perda média de água na distribuição de acordo com cada estado do Brasil.

O índice de perdas por ligação tem maior relação com a eficiência operacional, porque a maior parte das perdas reais e aparentes de longa duração ocorrem em ramais de distribuição. O volume médio perdido por ligação é de 343,4 litros/dia. Na Figura 2-10, podemos analisar esses dados por região do Brasil.

Figura 2-10 - Perdas de água por ligação ativa – Índice médio por região



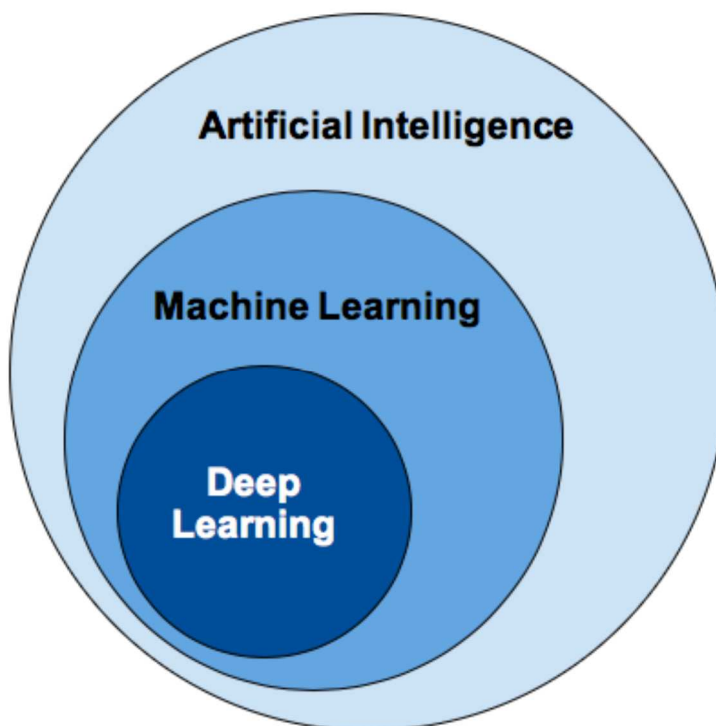
Fonte: SNIS,2020 (apud Gestão, 2025).

2.3. Machine Learning

O ML - *Machine Learning* ou aprendizagem da máquina, é um importante ramo da IA - Inteligência Artificial, que tem como objetivo o estudo de uma determinada base de dados com o auxílio de algoritmos de programação e de bibliotecas científicas, matemáticas e estatísticas, possibilitando à máquina um processo de aprendizagem, conforme, Fernandes (2020). A Figura 2-11, representa a interligação entre ML, IA e *Deep Learning*.

O aprendizado de máquina se concentra no desenvolvimento de algoritmos e modelos capazes de permitir que computadores e sistemas aprendam a partir de dados. Por meio desse processo, as máquinas são capazes de executar tarefas de forma autônoma, aprimorando seu desempenho progressivamente à medida que são expostas a novas informações. (IBM, 2025).

Figura 2-11 - Relação da Inteligência Artificial e Machine Learning



Fonte: FERNANDES (2020).

De acordo com Cloud (2025), as empresas, atualmente, lidam com uma quantidade massiva de dados gerados continuamente. Para fundamentar decisões estratégicas mais assertivas, é essencial interpretar essas informações de forma eficaz. No entanto, o elevado volume e a complexidade dos dados tornam inviável a utilização de ferramentas analíticas tradicionais. O desenvolvimento, teste e implementação de modelos analíticos capazes de identificar padrões e gerar insights exigem tempo e esforço consideráveis por parte dos profissionais. Nesse contexto, o uso de técnicas de aprendizado de máquina se destaca como uma alternativa eficiente, permitindo que as organizações processem grandes volumes de dados de maneira escalável e obtenham insights de forma mais ágil e precisa.

O aprendizado de máquina (Machine Learning) possibilita que computadores adquiram conhecimento a partir de dados, sem a necessidade de uma programação explícita para cada tarefa específica. Essa capacidade tem permitido a antecipação de cenários em uma ampla variedade de aplicações, que vão desde a previsão do tempo até a detecção de fraudes em transações financeiras. (COSTA, 2025).

Segundo Costa (2025), essa evolução é viabilizada, principalmente, pela enorme quantidade de dados que é armazenada atualmente. Esses dados podem assumir diferentes formatos, como números, textos, imagens, vídeos e áudios. Em outras palavras, praticamente qualquer tipo de informação digitalizada pode ser utilizada para o treinamento de algoritmos de aprendizado de máquina.

2.3.1. Como funciona o Machine Learning

De acordo com Costa (2025), o processo de treinamento de um modelo de aprendizado de máquina pode variar de acordo com a técnica utilizada. No entanto, é possível sintetizar esse processo por meio de características comuns a todos os métodos de aprendizado de máquina. De forma geral, o objetivo do aprendizado de máquina é identificar padrões em um conjunto de dados. Para isso, os dados são fornecidos a um algoritmo de Machine Learning, que realiza o treinamento do modelo com o propósito de reconhecer esses padrões.

Após o processo de treinamento, o modelo pode ser testado, avaliado, otimizado e, posteriormente, implementado em um ambiente de produção, conforme os objetivos da aplicação. O tipo de resultado fornecido por um modelo de aprendizado de máquina depende do algoritmo utilizado. Por exemplo:

- **Classificação:** quando o modelo tem como finalidade identificar a qual categoria uma determinada amostra pertence, ele retorna a classe prevista.
- **Regressão:** quando o objetivo é prever um valor numérico com base nas características da amostra, o modelo retorna esse valor.
- **Agrupamento (clustering):** quando a meta é reunir amostras com características semelhantes, o modelo retorna os grupos formados com base nesses critérios.

2.4. Utilização de Machine Learning na Redução de Perdas de água

A startup brasileira Status4 desenvolveu uma tecnologia inovadora que utiliza inteligência artificial para detectar vazamentos em sistemas de abastecimento de água, por meio da análise acústica de ruídos captados em hidrômetros. A solução, denominada 4Fluid, funciona de maneira análoga ao aplicativo Shazam, que identifica músicas a partir de trechos sonoros captados pelo dispositivo do usuário. Neste caso, no entanto, a aplicação é voltada para a identificação de irregularidades em redes de distribuição de água. (STARTUP, 2025)

De acordo com Startup (2025), o sistema 4Fluid opera com o auxílio de um equipamento específico, composto por uma central de processamento e uma haste que pode ser acoplada ao hidrômetro. Este dispositivo realiza gravações de aproximadamente 15 segundos dos sons emitidos pelas tubulações. Os dados acústicos são, então, enviados à plataforma de computação em nuvem Azure, da Microsoft, onde são comparados com um banco de dados contendo mais de 700 mil amostras de ruídos de tubulações em pleno funcionamento.

Com base nessa análise, o algoritmo da Status4 realiza uma varredura acústica para identificar sons que destoam do padrão, o que pode indicar a presença de vazamentos ou outras anomalias. A plataforma permite a automatização do processo de detecção, reduzindo significativamente a necessidade de visitas técnicas presenciais — estas passam a ser necessárias em apenas cerca de 2% dos casos analisados. (STARTUP, 2025).

Segundo Startup (2025), a tecnologia apresenta um índice de acerto de 99% para apontar que um ponto não apresenta vazamentos, e uma precisão de 65% nas situações em que há indícios de problemas. A Status4 estima que o uso da solução pode proporcionar uma economia de até 70% para os prestadores de serviço de abastecimento de água, otimizando os recursos operacionais e contribuindo para a redução de perdas no sistema.

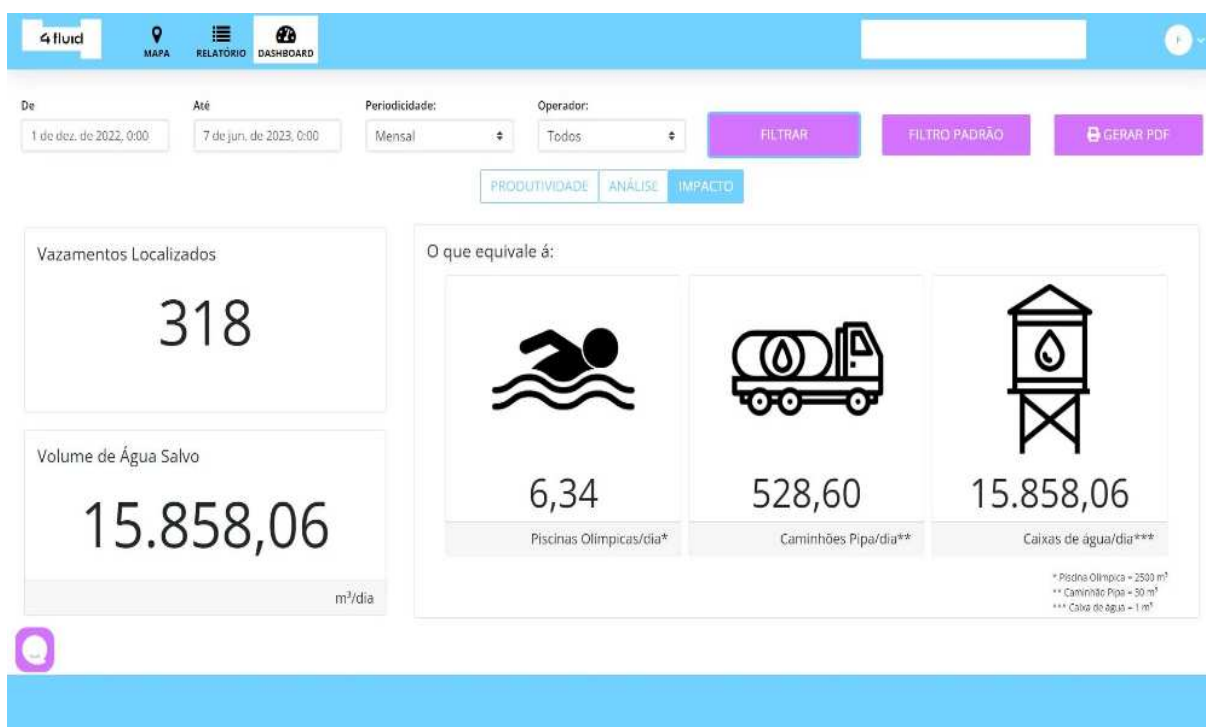
2.4.1. Sistema 4Fluid Móvel

A tecnologia 4Fluid Móvel representa uma solução inovadora voltada à identificação de potenciais vazamentos em redes e ramais de distribuição de água, utilizando recursos de Inteligência Artificial (IA). O processo se inicia com a coleta de dados em campo, os quais são posteriormente enviados para a nuvem, onde a IA realiza a análise dos ruídos captados, possibilitando a detecção de anomalias indicativas de vazamentos. (STATTUS4, 2025).

Com um acervo de mais de 4 milhões de amostras de áudio analisadas, o algoritmo é continuamente aperfeiçoado, aprimorando sua capacidade de identificação a cada nova coleta realizada. A operação em campo é realizada por meio de coletores com hastes, manipulados por equipes que executam uma varredura nos medidores de água. Um dos diferenciais dessa tecnologia é a possibilidade de operação por profissionais não especializados, como encanadores ou leituristas, dispensando a necessidade de geofonistas experientes. (STATTUS4, 2025).

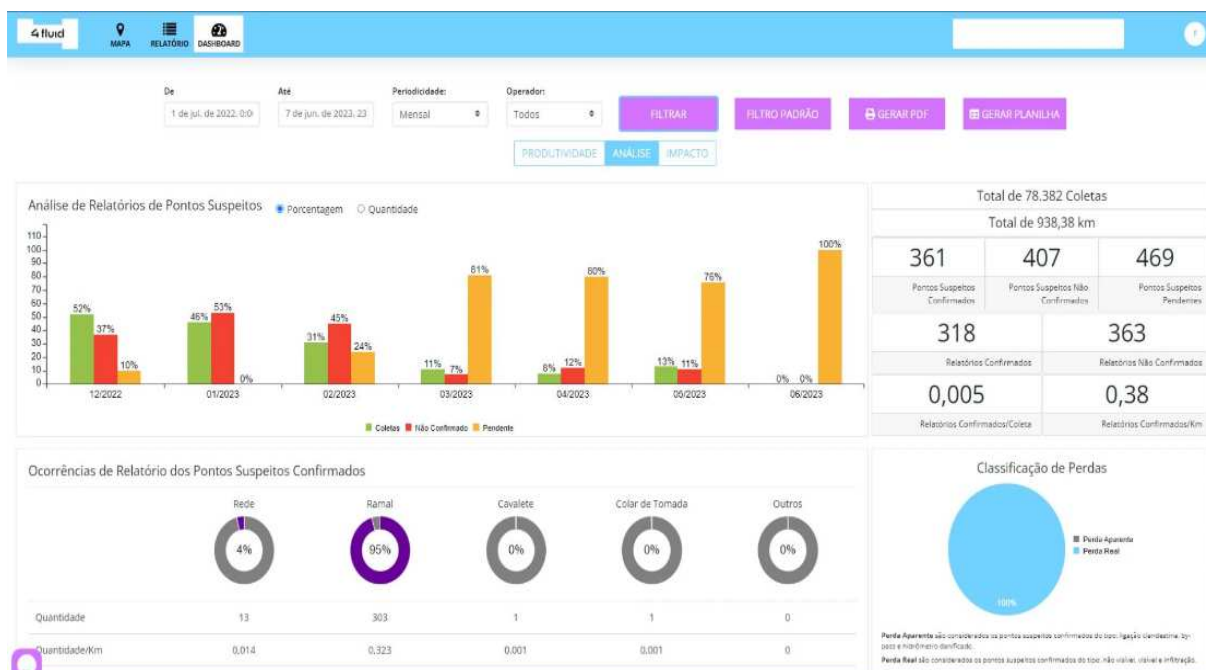
Na Figura 2-12 e Figura 2-13 é possível analisar algumas das telas geradas pelo sistema 4Fluid contendo informações importantes para análise das equipes responsáveis e tomadas de decisões necessárias.

Figura 2-12 – Tela do Sistema 4Fluid com informações compiladas



Fonte: STATUS4 (2025).

Figura 2-13 – Gráficos gerados no Sistema 4Fluid

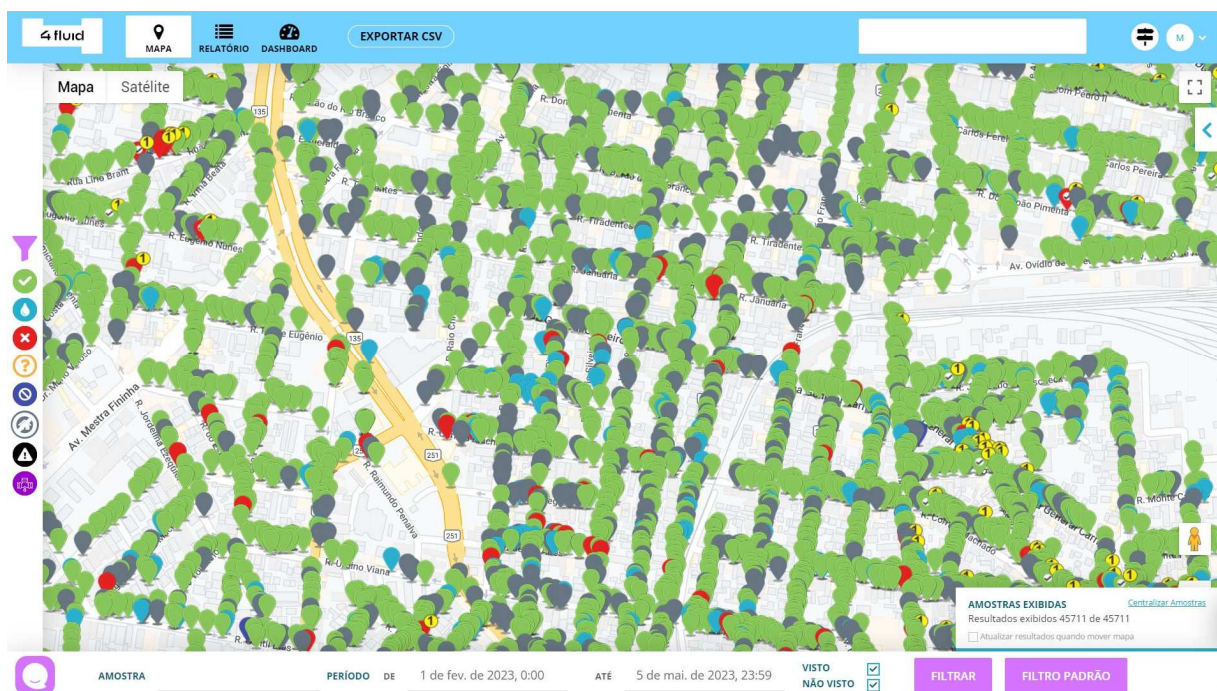


Fonte: STATUS4 (2025).

De acordo com Status4 (2025), o equipamento é dotado de funcionalidades adicionais, como a rastreabilidade da equipe de campo, a identificação de hidrômetros

com restrição de acesso para auditoria, e a integração com um aplicativo específico, que auxilia no registro da localização dos vazamentos detectados. Esse aplicativo também fornece uma estimativa do volume de água recuperada, além de permitir o acesso remoto a todos os dados coletados, contribuindo para uma gestão mais eficiente e transparente. Além de possibilitar o acompanhamento das atividades em campo, o sistema mantém um registro completo do histórico de inspeções, facilitando a gestão e investigação dos pontos suspeitos de vazamentos. Todos os dados são disponibilizados em dashboards interativos, que apresentam de maneira clara e objetiva informações sobre a produtividade das equipes, os tipos de vazamentos identificados e os impactos socioambientais associados.

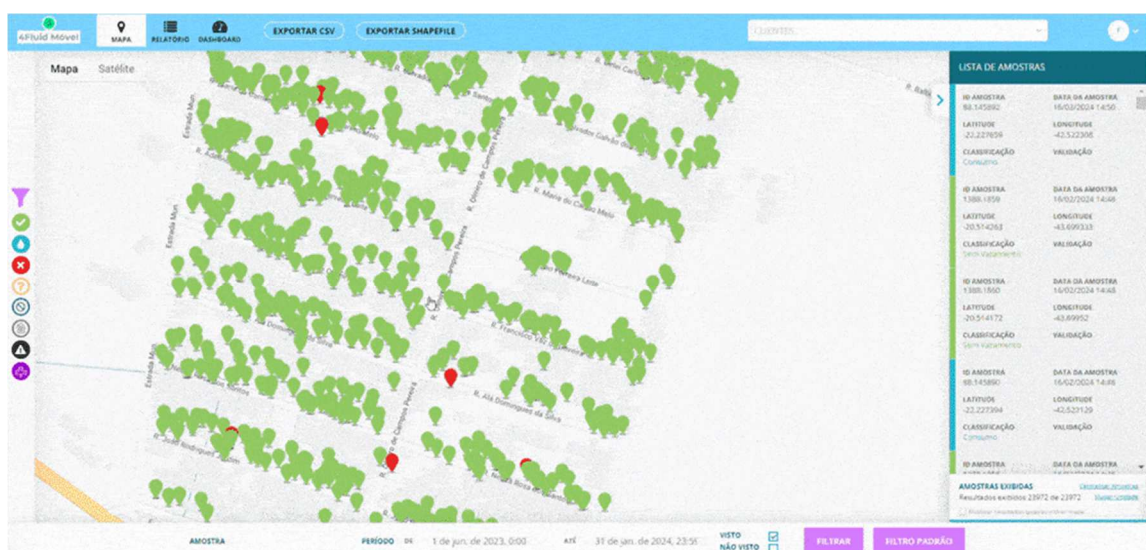
Figura 2-14 – Mapa com pontos verificados em campo



Fonte: STATTUS4 (2025).

Na Figura 2-14 e Figura 2-15, podemos analisar as demarcações dos pontos analisados em campo e dispostos nesses mapas temáticos para a equipe poder verificar onde estão localizados os possíveis vazamentos e realizarem as manutenções necessárias.

Figura 2-15 – Mapa com vazamentos localizados em pontos vermelhos



Fonte: STATTUS4 (2025).

2.5. Aplicação do Sistema 4Fluid em uma Companhia de Abastecimento

Segundo Marques (2025), a utilização de inteligência artificial tem contribuído significativamente para as atividades da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), especialmente na região de Franca, uma cidade do interior do estado de São Paulo, no que se refere à identificação de vazamentos não visíveis nas redes de distribuição de água.

O sistema empregado baseia-se na captação dos sons gerados pela perda de água nas tubulações, permitindo a identificação e a localização precisa de vazamentos que não se manifestam de forma aparente na superfície.

Esses dados sonoros são analisados com o auxílio de tecnologias baseadas em inteligência artificial, facilitando o trabalho dos geofonistas, profissionais especializados na detecção de vazamentos, conforme a Figura 2-16 que, a partir dessas informações, conseguem localizar os pontos de perda de forma mais eficiente. Essa abordagem tem se mostrado altamente eficaz no combate às perdas de água no sistema de abastecimento.

Figura 2-16 - Geofonista realizando coleta de sons no Hidrômetro do imóvel



Fonte: Sabesp Franca (apud Marques, 2025).

2.5.1. O trabalho antes do uso da inteligência artificial

A detecção de vazamentos não visíveis tradicionalmente exigiam um processo mais trabalhoso, sendo realizada por meio da identificação de ruídos nas tubulações. Para isso, utilizam-se hastes de escuta, que são instaladas nos pontos de ligação das residências. (MARQUES, 2025)

Essas hastes, acopladas aos cavaletes, funcionam como amplificadores sonoros, permitindo que possíveis vazamentos sejam identificados. A operação é conduzida por profissionais especializados, conhecidos como geofonistas, que realizam varreduras, preferencialmente durante o período noturno.

De acordo com Marques (2025), a escolha pelo horário noturno, conforme a Figura 2-17, deve-se a dois fatores principais: a redução de ruídos externos, o que facilita a escuta dos sons oriundos de vazamentos, e o aumento da pressão nas tubulações, o que intensifica o ruído gerado por falhas. No entanto, mesmo com essas condições favoráveis, o processo pode apresentar falhas. Essas falhas poderiam ser

associadas a questões humanas, como por exemplo, cansaço físico do funcionário ou até mesmo o som do vazamento ser muito baixo e o geofonista não conseguir identifica-lo.

Figura 2-17 – Geofonistas realizando varredura noturna



Fonte: Sabesp Franca (apud Marques, 2025).

2.5.2. Ajuda da Inteligência artificial na execução da varreduras

De acordo com Marques (2025), com a aplicação da nova técnica, as hastes de escuta foram aprimoradas com um sistema eletrônico capaz de gravar os ruídos característicos de possíveis vazamentos. Esses sons são transmitidos para um aplicativo instalado no dispositivo móvel do profissional responsável pela coleta de dados em campo.

Ao final do dia, as gravações realizadas nos diferentes pontos são enviadas para um banco de dados na nuvem. Nesse ambiente, um algoritmo de inteligência artificial realiza a comparação dos sons coletados com um extenso banco de dados que contém mais de dois milhões de registros de ruídos previamente classificados como vazamentos. (MARQUES, 2025).

A partir dessa análise comparativa, o algoritmo é capaz de indicar os locais com maior probabilidade de ocorrência de vazamentos, orientando assim as equipes de manutenção para intervenções mais precisas e eficientes. Na Figura 2-18 mostra-se o fluxo de trabalho da detecção de vazamento.

Figura 2-18 – Fluxo de trabalho da inteligência artificial para detectar vazamentos



Fonte: Sabesp Franca (apud Marques, 2025).

2.5.3. Trabalho do Geofonista

Apesar de o novo sistema permitir que a coleta dos sons das hastas seja realizada por qualquer funcionário da equipe, os geofonistas continuam exercendo um papel fundamental na identificação precisa dos vazamentos. Após a detecção automática de possíveis anomalias pelo sistema, os dados são enviados para um segundo aplicativo, responsável por elaborar um roteiro otimizado com os pontos suspeitos. (MARQUES, 2025).

Com esse roteiro em mãos, os geofonistas passam a atuar de forma mais direcionada, visitando apenas os locais onde há indícios de vazamento, geralmente durante o período noturno. Essa abordagem representa um ganho significativo em

termos de eficiência operacional, já que, em vez de percorrer grandes áreas aleatoriamente, o profissional concentra seus esforços nas áreas com maior probabilidade de ocorrência de vazamentos.

Conforme explica Marques (2025), em média, o sistema consegue indicar entre dez e quinze pontos suspeitos por noite. Embora não forneça a localização exata dos vazamentos, as referências apresentadas permitem que a área investigada seja aproximadamente duas vezes maior no mesmo intervalo de tempo. Dessa forma, o geofonista passa a ser utilizado de maneira mais estratégica, dedicando-se exclusivamente à sua especialidade: confirmar ou descartar a existência de vazamentos nos pontos previamente selecionados.

2.5.4. A importância de localizar os vazamentos

Para o êxito do programa, foi necessário que a Sabesp promovesse treinamentos específicos para os colaboradores, uma vez que as equipes estavam habituadas a realizar as atividades de forma manual, enquanto o novo sistema exige o uso de smartphones. Houve a necessidade de adaptações que envolveram a mobilização de gerentes, engenheiros e profissionais do setor operacional. No entanto, o principal foco foi promover a inclusão digital dos geofonistas, garantindo que todos estivessem aptos a utilizar as novas tecnologias implementadas. (MARQUES, 2025).

Segundo Marques (2025), os vazamentos representam um dos principais desafios no enfrentamento das perdas de água nos sistemas de abastecimento, especialmente quando ocorrem de forma não visível. Identificar esses vazamentos é uma tarefa complexa para companhias como a Sabesp, principalmente porque muitos deles não se manifestam de maneira evidente na superfície. Durante períodos de estiagem, a prevenção de vazamentos torna-se ainda mais crucial, contribuindo significativamente para a garantia do abastecimento hídrico das cidades. Nesse contexto, a redução das perdas se apresenta como uma estratégia mais eficiente e economicamente viável do que a realização de novos investimentos em infraestrutura para captação de água.

Dados da própria Sabesp demonstram a eficácia da adoção de tecnologias baseadas em inteligência artificial nesse processo. A empresa registrou uma redução superior a 50% nos custos anuais com pesquisas de vazamentos após a implementação de soluções inteligentes. Um exemplo prático é o município de São João da Boa Vista, no interior de São Paulo, onde foi observada uma economia de mais de 100 litros de água por ligação por dia. (MARQUES, 2025).

Adicionalmente, a detecção e manutenção de vazamentos não aparentes contribuem para a diminuição significativa da ocorrência de novos rompimentos nas redes de distribuição, uma vez que permitem o monitoramento e correção de pontos vulneráveis do sistema, promovendo maior eficiência operacional e sustentabilidade no uso dos recursos hídricos.

3. CONCLUSÃO

Diante do cenário atual de escassez de recursos hídricos, aliado aos altos índices de perdas em sistemas de abastecimento no Brasil, torna-se urgente a adoção de tecnologias inovadoras que permitam uma gestão mais eficiente da água. Este trabalho analisou o impacto da aplicação de soluções baseadas em Inteligência Artificial (IA), em especial técnicas de Machine Learning, como ferramentas capazes de transformar a maneira como as perdas de água são identificadas, monitoradas e combatidas.

A partir da revisão bibliográfica verificou-se que é possível integrar sensores, coleta de dados em campo e algoritmos inteligentes para detectar vazamentos não visíveis com alto grau de precisão. A análise acústica de sons gerados em hidrômetros, processada por meio de um sistema em nuvem, permite não apenas identificar falhas antes que se tornem críticas, mas também reduzir significativamente a necessidade de inspeções presenciais e otimizar a alocação das equipes de campo.

Além dos ganhos operacionais, observou-se uma importante contribuição econômica e ambiental. A redução de perdas implica menor captação de água, menor consumo de energia para bombeamento e tratamento, e redução dos custos com manutenções corretivas. No caso específico da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), a aplicação da solução gerou economias expressivas, tanto em volume de água recuperada quanto em custos com pessoal e equipamentos.

Outro ponto relevante abordado foi a mudança cultural e operacional que acompanha a implementação de tecnologias baseadas em IA. Para que haja real efetividade, é necessário investir não apenas em equipamentos e software, mas também na capacitação das equipes, na adaptação dos processos internos e na promoção de uma cultura de inovação dentro das companhias de saneamento. A inclusão digital dos profissionais de campo, como os geofonistas, mostrou-se um elemento fundamental para o sucesso da iniciativa.

Portanto, conclui-se que a utilização da Inteligência Artificial para a redução de perdas em sistemas de abastecimento de água é uma estratégia viável, eficiente e sustentável. Trata-se de um caminho promissor não apenas para atender às exigências do novo marco legal do saneamento, mas também para promover a gestão responsável dos recursos hídricos, garantir a continuidade do abastecimento às populações e fomentar o desenvolvimento tecnológico do setor.

O futuro da gestão hídrica, portanto, passa por um modelo integrado, em que dados, algoritmos e infraestrutura de qualidade caminham juntos para garantir segurança, economia e sustentabilidade. A adoção dessas tecnologias representa não apenas uma solução técnica, mas um compromisso com a eficiência e com a preservação de um dos recursos mais preciosos da humanidade: a água.

4. REFERÊNCIAS

CLOUD. **O que é Machine Learning? Tipos e usos.** Disponível em: <<https://cloud.google.com/learn/what-is-machine-learning?hl=pt-BR>>. Acesso em: 16 de abril de 2025.

COSTA, M. **Direto ao ponto: o que é Machine Learning com exemplos reais.** Disponível em: <https://www.alura.com.br/artigos/machine-learning?srsId=AfmBOopk_8URaV0e8ITIJ80jrdWo_7O7medpl1smtgTovTnKV6mrEy8o>. Acesso em: 16 de abril 2025.

ECTAS. Sistema de captação de água: saiba o que é, tipos e vantagens. ECTAS Saneamento. Disponível em: <<https://www.ectas.com.br/post/sistema-de-capta%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-saiba-o-que-%C3%A9-tipos-e-vantagens>>. Acesso em: 20 de abril de 2025.

FERNANDES, R. F. Lopes. **Metodologia de redução de perdas de água com recurso a algoritmos de inteligência artificial.** 2020. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2020.

FUNASA. **Manual de Saneamento.** 5ª edição. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2019. 672 p. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>. Acesso em: 18 de abril de 2025.

FUNASA. **Plano Municipal de Saneamento Básico.** 2016. Disponível em: <<https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdbc3?version=1.0>>. Acesso em: 18 de abril de 2025.

GESTÃO de Perdas. Disponível em: <<https://boletimdosaneamento.com.br/gestao-de-perdas/>>. Acesso em: 31 de março de 2025.

IBM. **O que é machine learning (ML)?** Disponível em: <<https://www.ibm.com/br-pt/think/topics/machine-learning>>. Acesso em: 16 de abril de 2025.

MARQUES, B. **Entenda como inteligência artificial ajuda a detectar vazamentos de água não visíveis em Franca, SP.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2023/04/22/entenda-como-inteligencia-artificial-ajuda-a-detectar-vazamentos-de-agua-nao-visiveis-em-franca-sp.ghtml>>. Acesso em: 16 de abril de 2025.

NETTO, Azevedo; ITO, Acácio Eiji; FERNANDEZ, Miguel Fernandez y. **Manual de hidráulica.** Editora Edgar Blucher Ltda. 8ª Edição atualizada. 1989.

PERDAS de água 2020 (SNIS 2018): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Relatorio_Final_-_Estudo_de_Perdas_2020_-_JUNHO_2020.pdf>. Acesso em: 3 de abril de 2025.

SABESP. **Controle de Perdas.** Disponível em: <<https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/obras-programas/reducao-perdas/controle-perdas>>. Acesso em: 31 mar. 2025.

STARTUP usa gravações de som para detectar vazamento de água. Disponível em: <<https://aesbe.org.br/novo/startup-usa-gravacoes-de-som-para-detectar-vazamento-de-agua/>>. Acesso em: 17 de abril 2025.

STATTUS4. **4Fluid Móvel.** Disponível em: <<https://stattus4.com/solucoes/4fluid-movel/>>. Acesso em: 17 de abril de 2025.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água.** 3ª Edição. 2006.

SOBRINHO, Renavan Andrade. **Gestão das Perdas de água e energia em sistema de abastecimento de água da EMBASA: Um estudo dos fatores intervenientes da RMS.** 2012. 288 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.