

DESPERDÍCIO DE ÁGUA NAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO NO BRASIL: UMA REVISÃO ATUALIZADA

WATER WASTE IN DISTRIBUTION NETWORKS IN BRAZIL: AN UPDATED REVIEW

Adrielly Costa da Silva¹
Robson José Silva²

RESUMO

O desperdício de água nas redes de distribuição no Brasil representa um grande desafio para a eficiência do saneamento. Apesar de o país deter 12% da água doce do planeta, a infraestrutura precária e a falta de investimentos em tecnologias de monitoramento e controle agravam esse problema. Diante desse cenário, o presente estudo analisou, por meio de revisão bibliográfica atualizada, as principais causas das perdas de água e as soluções adotadas para mitigá-las. Os resultados indicaram que as perdas podem ser reais, causadas por vazamentos, extravasamentos, variações de pressão e falhas estruturais, ou aparentes, causadas por fraudes, erros de medição e cadastros desatualizados. Além disso, a análise dos índices de perdas mostrou que em 2022, o Brasil perdeu 37,8% da água potável, sendo mais elevadas na região Norte e Nordeste devido à infraestrutura precária e menor fiscalização. Dentre as estratégias mais eficazes para reduzir essas perdas, é possível destacar a setorização da rede, o uso de sensores inteligentes, o controle de pressão e a aplicação de inteligência artificial para monitoramento e gestão da distribuição. Essas estratégias, quando aliadas à modernização da infraestrutura, às medidas preventivas e às tecnologias inovadoras podem aprimorar a eficiência do sistema de abastecimento, além de garantir a conservação dos recursos hídricos no Brasil.

Palavras-chave: perdas de água; redes de distribuição; saneamento; recursos hídricos; tecnologia.

ABSTRACT

Water waste in distribution networks in Brazil represents a major challenge to sanitation efficiency. Although the country holds 12% of the planet's fresh water, poor infrastructure and lack of investment in monitoring and control technologies exacerbate this problem. Given this scenario, this study analyzed, through an updated literature review, the main causes of water losses and the solutions adopted to mitigate them. The results indicated that losses can be real, caused by leaks, overflows, pressure variations and structural failures, or apparent, caused by fraud, measurement errors and outdated records. In addition, the analysis of loss rates showed that in 2022, Brazil lost 37.8% of its drinking water, with losses being higher in the North and Northeast regions due to poor infrastructure and less monitoring. Among the most effective strategies to reduce these losses, it is possible to highlight the sectorization of the network, the use of smart sensors, pressure control and the application of artificial intelligence for monitoring and management of distribution. These strategies, when combined with infrastructure

¹ Bacharelanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, 2025.

² Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho. 2025.

modernization, preventive measures and innovative technologies, can improve the efficiency of the supply system, in addition to ensuring the conservation of water resources in Brazil.

Keywords: water losses; distribution networks; sanitation; water resources; technology.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável tem se tornado um desafio global, especialmente em um cenário de mudanças climáticas e crescimento populacional acelerado. Apesar de o Brasil deter cerca de 12% da água doce do planeta, a distribuição desigual dos recursos hídricos e os elevados índices de desperdício dificultam o acesso da população à água tratada (ANA, 2021).

O desperdício de recursos naturais é um dos grandes desafios da atualidade, impactando a sustentabilidade ambiental, a economia e a qualidade de vida da população. Em setores como: indústria, agricultura e consumo doméstico, o uso ineficiente de matérias-primas, energia e água geram perdas significativas que poderiam ser minimizadas com melhor gestão e tecnologias mais eficientes (ONU, 2021).

O desperdício de água no sistema de abastecimento, especialmente nas redes de distribuição, representa um dos principais obstáculos para a eficiência do saneamento no país, afetando a segurança hídrica e gerando danos financeiros consideráveis. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), grande parte da água potável produzida no Brasil é perdida antes de chegar ao consumidor final, seja por vazamentos, manipulações indevidas ou falhas na medição do consumo. A precariedade da infraestrutura, aliada à falta de investimentos em tecnologias de monitoramento e controle, agrava esse cenário e compromete a eficiência dos sistemas de abastecimento.

Dentro desse contexto, a busca por soluções tecnológicas e estratégicas para reduzir o desperdício de água nas redes tem sido cada vez mais relevante. Dessa forma,

este estudo tem como objetivo analisar o desperdício de água nas redes de distribuição no Brasil, apontando suas causas e possíveis soluções tecnológicas e de gestão para alívio de tais perdas, contribuindo para uma manutenção hídrica mais sustentável.

METODOLOGIA

Este estudo adotou uma abordagem qualitativa e descritiva, baseada em revisão bibliográfica atualizada. Segundo Marconi e Lakatos (2017), esse método permite reunir, analisar e sintetizar os conhecimentos disponíveis sobre um tema específico. Dessa forma, para a revisão, foi realizado um levantamento bibliográfico ao longo de um período de seis meses, de Julho de 2024 a Janeiro de 2025. A pesquisa envolveu a consulta de artigos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e teses de doutorado, além de relatórios técnicos, utilizando as seguintes bases de dados: Google Acadêmico, SciELO, Capes Periódicos e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

Com o objetivo de analisar o cenário das redes de distribuição no país, foram investigadas as causas do desperdício, os índices de perdas de água entre as diferentes regiões e estados brasileiros e as possíveis soluções tecnológicas e de gestão.

Para sistematizar a busca nas bases de dados, foram aplicados os seguintes filtros: (a) assunto principal: perdas de água nas redes de distribuição no Brasil, perdas de água no Brasil, tecnologias de controle de perdas de água, controle de perdas de água nas redes de distribuição, perdas de água nas redes de distribuição, índices de perdas, diagnósticos de perdas e painéis de consumo per capita; (b) idioma: português;

(c) tipo de documento: artigos, monografias, teses, dissertações, relatórios, manuais e livros; (d) ano de publicação: de 2014 a 2024.

Em relação aos índices de perdas de água nas redes de distribuição, foram analisados e comparados os seguintes: Índice de Perdas de Faturamento Total (IPFT), Índice de Perdas na Distribuição (IPD) e Índice de Perdas por Ligação (IPL), viabilizando uma avaliação quantitativa do cenário brasileiro.

Após a pesquisa realizada, foram selecionados um total de 47 estudos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Bases de dados utilizadas na pesquisa e quantitativo de estudos selecionados.

Bases de Dados	Perdas de água nas redes de distribuição no Brasil	Perdas de água no Brasil	Tecnologias de controle de perdas de água	Controle de perdas de água nas redes de distribuição	Perdas de água nas redes de distribuição	Relatórios e indicadores de perdas de água
Google Acadêmico	16.200	17.400	15.900	15.600	16.000	-
SciELO	-	28	2	1	-	-
Capas de Periódicos	13	124	3	2	7	-
SNS	-	-	-	-	-	4

Fonte: elaborado pela própria autora.

REFERENCIAL TEÓRICO

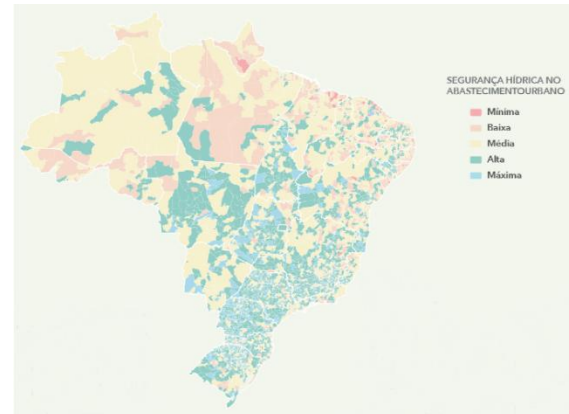
Disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica refere-se à quantidade de água acessível para consumo humano, industrial e agrícola em determinada região. No Brasil, apesar da abundância de recursos hídricos, a distribuição não é homogênea (ANA, 2021). Fatores como precipitação, infiltração, armazenamento subterrâneo e ações antrópicas influenciam diretamente a disponibilidade. A degradação ambiental, o desmatamento, a poluição e as mudanças climáticas impactam significativamente a qualidade e quantidade de água disponível (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2020). Além disso, devido ao crescimento populacional e industrial, a demanda aumenta os desafios da gestão sustentável, contribuindo para a

escassez, especialmente em períodos de estiagem prolongada.

A Figura 1 apresenta o mapa da segurança hídrica no abastecimento urbano no Brasil, evidenciando variações regionais nos níveis de disponibilidade e confiabilidade dos recursos hídricos. Nota-se que algumas áreas apresentam maior segurança no abastecimento, enquanto outras enfrentam níveis mais baixos, indicando desafios no acesso à água. Essa distribuição reflete fatores como disponibilidade natural dos recursos hídricos, infraestrutura de abastecimento e variabilidades climáticas. Assim, o cenário hídrico do país é marcado por desigualdades que influenciam diretamente a segurança no fornecimento de água para a população.

Figura 1 - Mapa da segurança hídrica no Brasil.

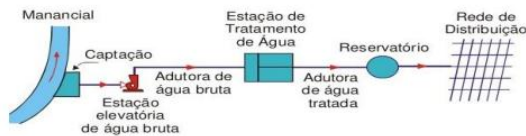


Fonte: Atlas; ANA, 2021.

Sistema de Abastecimento de Água

O sistema de abastecimento de água (SAA) é um conjunto de infraestrutura e equipamentos voltados para assegurar o fornecimento de água potável em qualidade e quantidade adequadas para consumo humano, industrial e público (FUNASA, 2014). Os sistemas de abastecimento presentes no Brasil se caracterizam por possuir as seguintes fases: escolha do manancial, captação, estação elevatória, adutora e a rede de distribuição, conforme Figura 2.

Figura 2 - Esquema de captação de água.



Fonte: Compesa, 2012 *apud* Souza, 2016. p. 22.

Componentes do SAA

O manancial é a fonte de onde a água é retirada, podendo ser superficial (rios, lagos, represas) ou subterrâneo (aquíferos e poços). A escolha depende da qualidade da água e da viabilidade técnica de exploração (ANA, 2021). Mananciais superficiais costumam demandar mais tratamento devido à maior exposição a contaminantes, enquanto os subterrâneos tendem a apresentar melhor qualidade natural (Goulart, 2015).

Já captação consiste na retirada da água do manancial por meio de bombas ou estruturas de sucção. Esse processo deve ser planejado para garantir a vazão adequada e evitar a entrada de impurezas (FUNASA, 2014).

A adução transporta a água captada até a estação de tratamento ou reservatórios por meio de tubulações chamadas adutoras. Pode ocorrer por gravidade, aproveitando o relevo, ou por bombeamento, utilizando estações elevatórias (ANA, 2021).

As estações elevatórias utilizam bombas para impulsionar a água quando a gravidade não é suficiente para seu deslocamento. Elas podem ser de água bruta (antes do tratamento) ou de água tratada (após o tratamento), garantindo o fluxo contínuo no sistema (Goulart, 2015).

A estação de tratamento tem o papel de tornar a água potável, removendo impurezas e agentes contaminantes. O processo inclui etapas como coagulação, decantação, filtração e desinfecção, garantindo que a água seja fornecida dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação (Brasil, 2021).

Os reservatórios armazenam a água tratada antes da distribuição, regulando o abastecimento e garantindo disponibilidade em períodos de alta demanda. Eles podem ser elevados ou semienterrados, dependendo da necessidade da região abastecida (FUNASA, 2014).

A rede de distribuição é responsável por levar a água dos reservatórios até os consumidores. É composta por tubulações, válvulas e hidrômetros, devendo ser projetada para minimizar desperdícios e manter a qualidade da água até sua chegada ao consumidor final (ANA, 2021).

A eficiência do fornecimento depende da gestão integrada dessas etapas, garantindo fornecimento contínuo e redução de perdas hídricas. O investimento em infraestrutura e tecnologia é essencial para garantir um abastecimento seguro e sustentável (Goulart, 2015).

Perdas no SAA

As perdas de água no sistema de abastecimento são um dos principais desafios enfrentados pelas companhias de saneamento, representando não apenas uma falha na distribuição, mas também um alto custo econômico e ambiental. Essas perdas podem ser classificadas em dois tipos: reais e aparentes. De acordo com Silva e Barros (2021), as perdas reais, ou físicas, ocorrem devido a vazamentos nas tubulações e nas conexões, extravasamentos nas adutoras e nos reservatórios, pressão inadequada e pela falta de manutenção preventiva. Já as perdas aparentes, ou comerciais, estão relacionadas a consumos não registrados, como fraudes, erros de medição e ao cadastro desatualizado de consumidores, que impactam diretamente o faturamento das empresas de saneamento. A magnitude das perdas de água é diretamente influenciada pela infraestrutura do sistema, como o envelhecimento das tubulações e a falta de monitoramento eficiente.

O uso inadequado dos recursos tecnológicos e a falta de manutenção preventiva contribuem para o agravamento

dessa situação (Yoshimoto, 2015). As perdas de água causam um forte impacto econômico, pois implicam em custos elevados com energia elétrica, produtos químicos para o tratamento da água e mão-de-obra (Cunha *et al.*, 2018). No contexto ambiental, essas perdas agravam a crise hídrica mundial, sendo um desperdício de um recurso finito e essencial para a vida humana (Andrade Sobrinho; Borja, 2016).

A avaliação das perdas de água nas redes de distribuição é essencial para compreender a eficiência do sistema de abastecimento. Os índices de perdas permitem quantificar o desperdício e orientar estratégias de mitigação. São eles: Índice de Perdas no Faturamento Total (IPFT) o Índice de Perdas na Distribuição (IPD), o Índice de Perdas por Ligação (IPL).

Índice De Perdas de Faturamento Total (IPFT)

O Índice de Perdas de Faturamento Total (IPFT) é uma ferramenta usada para avaliar, em termos percentuais, a quantidade de água não faturada em um sistema de distribuição. Segundo a ABES (2015), esse índice é essencial para analisar a eficiência operacional e financeira das companhias de saneamento, uma vez que fornece uma visão completa sobre as perdas físicas (vazamentos) e aparentes (fraudes e ligações clandestinas, erros na medição e cadastro desatualizado de clientes). O IPFT é calculado pela seguinte equação:

Equação (1)

$$IPFT(\%) = \left(\frac{\text{Volume de Água Não Faturada}}{\text{Volume Total de Água Produzida}} \right) \times 100$$

Fonte: Alegre *et al.*, 2006.

Índice De Perdas na Distribuição (IPD)

O Índice de Perdas na Distribuição (IPD) é um indicador percentual que avalia a proporção de água produzida e inserida no sistema, mas que não chega a ser consumida

pelos usuários finais. Segundo a ANA (2021), esse índice analisa principalmente perdas físicas (vazamentos, pressão inadequada e falta de manutenção preventiva). O IPD é calculado pela seguinte equação:

Equação (2)

$$IPD(\%) = \left(\frac{\text{Volume Consumido}}{\text{Volume Total Produzido}} \right) \times 100$$

Fonte: Lambert, 2002.

Índice De Perdas Por Ligação (IPL)

O Índice de Perdas por Ligação (IPL) é uma ferramenta usada para avaliar a quantidade de água perdida no sistema de distribuição por ligação ativa, expressa em litros por ligação por dia. Segundo o SNIS (2022), esse índice é fundamental para medir a eficiência da infraestrutura de abastecimento, pois considera tanto perdas reais (vazamentos e problemas com a infraestrutura) quanto aparentes (fraudes e erros de medição).

Fatores como o grau de verticalização e o consumo per capita também influenciam o índice, com cidades mais verticalizadas e de maior consumo tendendo a ter valores mais altos, mesmo com eficiência semelhante a outras localidades (Brasil, 2021). O IPL é calculado pela seguinte equação:

Equação (3)

$$IPL = \frac{\text{Volume de Água Perdida}}{\text{Número de Ligações Ativas}}$$

Fonte: Alegre *et al.*, 2006.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Principais causas do desperdício de água nas redes de distribuição no Brasil

Melato (2020) e o Instituto Trata Brasil (Perdas de água 2022, 2022) apontam que as perdas podem ser classificadas em perdas reais e perdas aparentes.

Perdas reais (Físicas)

As perdas reais apresentam as seguintes causas: vazamentos em tubulações e conexões, extravasamentos de reservatórios, variações de pressão e falhas na manutenção preventiva, além de problemas com a infraestrutura.

Os vazamentos em tubulações e conexões estão entre as principais causas das perdas reais nos sistemas de abastecimento, ocasionando desperdício contínuo de água tratada. Esses vazamentos podem ser provocados pela degradação natural dos materiais, corrosão em redes metálicas, falhas nas conexões e movimentações do solo, que geram fissuras e rompimentos ao longo do tempo (Kusterko *et al.*, 2018).

A vida útil das tubulações varia conforme o material empregado, influenciando diretamente a ocorrência de vazamentos. A Tabela 2 apresenta a vida útil média de alguns materiais mais utilizados:

Tabela 2 - Vida útil média de materiais utilizados em redes de distribuição.

Material	Vida Útil Média (anos)
Ferro Fundido	50 a 100
Cimento Amianto	40 a 70
PVC	50 a 70
Poliétileno de Alta Densidade (PEAD)	50 a 100

Fonte: elaborado pela própria autora com base nas informações de Associação Brasileira do PVC (2020), Qual a[...] (2023) e Tubo PEAD [...] (2023).

Os extravasamentos ocorrem quando o volume de água armazenada nos

reservatórios ultrapassa a capacidade máxima, resultando no transbordamento do recurso hídrico. Eles representam uma parcela significativa das perdas nos sistemas de abastecimento, podendo representar cerca de 2% e 6% da produção total (Souza, 2016). Esse problema pode ser causado por falhas operacionais, falta de automação no controle dos níveis de reservatórios ou pelo dimensionamento inadequado da infraestrutura em relação à demanda (Moura *et al.*, 2014).

De acordo com Souza (2016) a falta de controle automatizado, especialmente em horários de menor consumo, contribui significativamente para esses extravasamentos, já que a água continua sendo bombeada sem a devida regulação.

Além dos vazamentos e extravasamentos, a pressão inadequada na rede também é uma causa crítica do desperdício. Pressões excessivas podem provocar rompimentos nas tubulações, enquanto pressões muito baixas comprometem a eficiência do abastecimento e favorecem a infiltração de contaminantes (Souza, 2017).

Estima (2022) identificou que, em sistemas com grandes variações topográficas, golpes de aríete - ondas de pressão provocadas por variações abruptas no fluxo de água - são responsáveis por fissuras e danos estruturais. Além de constatar que a ausência de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) resultou em maior incidência de rompimentos e vazamentos devido à pressão descontrolada na rede.

Durante períodos de estiagem, os golpes de aríete podem ser agravados devido ao acionamento mais frequente das bombas para compensar a redução nos volumes armazenados, gerando oscilações bruscas na pressão. A variação na disponibilidade hídrica também pode levar a manobras operacionais inadequadas, como fechamento e abertura abrupta de registros, intensificando os impactos na infraestrutura (Tonin, 2022).

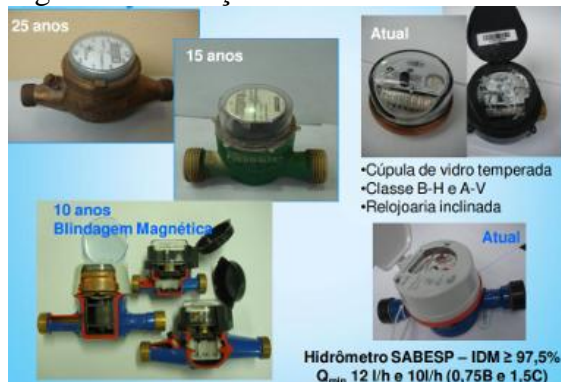
A última causa apontada se refere aos problemas relativos à falta de manutenção e a infraestrutura das redes de distribuição, os quais se dão geralmente quando estas encontram-se envelhecidas. A falta de manutenção, modernização e o uso de materiais inadequados aumentam as falhas nas conexões e causam danos estruturais (Kusterko *et al.*, 2018). Além disso, a incompatibilidade entre sistemas novos e redes antigas, especialmente em substituições parciais, é uma causa adicional de vazamentos nas junções entre materiais distintos (Moura *et al.*, 2014).

Perdas aparentes (Comerciais)

As perdas aparentes apresentam como causas: erros de medição de hidrômetros, fraudes ou ligações clandestinas, além do cadastro desatualizado de consumidores.

Os erros de medição de hidrômetros são uma das principais causas das perdas aparentes. Quando esses dispositivos não funcionam corretamente, eles podem submedir o consumo, resultando em uma perda significativa na qualidade da gestão de recursos hídricos (Libânio, 2010). Hidrômetros com mais de 10 anos de uso, por exemplo, podem apresentar erros superiores a 10%. A Figura 3 apresenta a evolução dos hidrômetros utilizados pela SABESP ao longo do tempo, destacando diferentes modelos com variações tecnológicas e estruturais.

Figura 3 - Evolução dos hidrômetros.



Fonte: Sabesp *apud* Ferreira; Tomaz Junior, 2022, p. 33.

As fraudes ou ligações clandestinas também são fatores importantes nas perdas comerciais. A manipulação de hidrômetros e a instalação de acessos não autorizados comprometem a eficiência do sistema de distribuição e impactam diretamente na gestão dos recursos hídricos.

No Brasil, cerca de 22% das perdas no faturamento são causadas por tais práticas (Cirqueira, 2023). Essas adulterações são especialmente frequentes em áreas periféricas, onde a fiscalização é mais limitada, e em comunidades que não têm acesso regular à rede oficial de abastecimento (Moura *et al.*, 2014). Além das ligações irregulares, uma técnica comum é o uso de arame inserido no hidrômetro para travar ou reduzir a rotação do medidor, subestimando o consumo real de água. A Figura 4 mostra esse tipo de manipulação.

Figura 4 - Fraude em hidrômetro com arame.



Fonte: Sabesp, 2014 *apud* Melato, 2020. p. 82.

Quanto ao cadastro desatualizado de consumidores, verificou-se que muitas companhias de saneamento ainda operam com bancos de dados defasados, onde novas construções e ampliações não são corretamente registradas (Ferreira, 2018). A falta de um sistema integrado de gestão e georreferenciamento agrava esse problema, tornando difícil o controle eficiente sobre os imóveis atendidos, especialmente em áreas com crescimento urbano acelerado (Mâncio; Gonzalez, 2023). A ausência de

atualização nos registros também prejudica o planejamento operacional das concessionárias e dificulta a previsão da demanda, o que compromete a eficiência do sistema de distribuição (Perdas de água 2022, 2022).

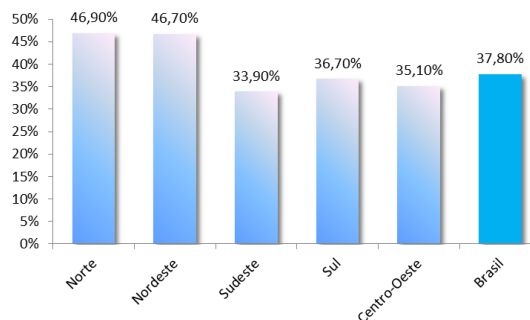
De forma geral, observou-se que as principais causas do desperdício de água nas redes de distribuição no Brasil refletem deficiências estruturais, operacionais e de gestão. As perdas reais decorrem da deterioração da infraestrutura, da falta de manutenção preventiva e do controle inadequado da pressão. Já as perdas aparentes, resultam de fraudes, erros de medição e cadastros desatualizados, comprometendo a arrecadação e dificultando a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Análise comparativa dos índices de perdas de água nas redes de distribuição entre regiões e estados brasileiros

Os dados do SNIS em 2022 apontaram que o Brasil registrou uma perda de 37,8% de água potável no processo de distribuição. Esse percentual representa um desafio significativo para o abastecimento eficiente e sustentável da água.

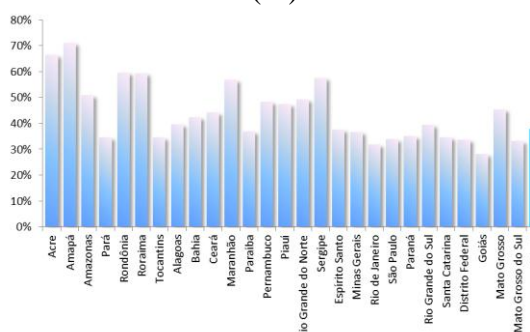
Para analisar os diferentes indicadores de perdas de água, é essencial compreender o panorama geral da água potável não contabilizada ou perdida na distribuição. Os Gráficos 1 e 2 apresentam o percentual de perda total em relação ao volume de água disponibilizado nas regiões e estados brasileiros, respectivamente.

Gráfico 1 - Percentual de água potável não contabilizada ou perdida na distribuição nas Regiões e no Brasil (%).



Fonte: elaborado pela própria autora com base no SNIS, 2022.

Gráfico 2 - Percentual de água potável não contabilizada ou perdida na distribuição nos estados e no Brasil (%).



Fonte: elaborado pela própria autora com base no SNIS, 2022.

Região Norte

A Região Norte apresenta um dos maiores índices de perdas de água no Brasil, atingindo 46,90% (Gráfico 1). Esse alto percentual decorre de fatores como a vasta extensão territorial, a baixa densidade populacional e a presença de rios e florestas, que dificultam a manutenção e a fiscalização da rede de distribuição (Philippi Jr., 2008).

Além disso, a infraestrutura antiga, composta por materiais inadequados, intensifica os vazamentos e eleva os custos operacionais, dificultando investimentos em melhorias. As perdas aparentes também são significativas, resultado de ligações clandestinas e da fiscalização limitada, reduzindo a eficiência do sistema (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2020).

Com base no Gráfico 2, na região Norte os estados mais afetados por perdas na distribuição são: Amapá com 71,10%, Acre com 66,6% e Rondônia com 59,80%.

Região Nordeste

A Região Nordeste apresenta um índice de perdas de 46,70% (Gráfico 1), sendo diretamente influenciado pelas condições climáticas adversas e pelas limitações estruturais. A ocorrência de secas prolongadas e o racionamento de água causam oscilações de pressão nas tubulações, acelerando o desgaste da infraestrutura e favorecendo vazamentos (SNIS, 2022).

Redes de distribuição antigas e mal conservadas agravam o problema, associadas à escassez de investimentos na modernização dos sistemas. Além disso, a elevada incidência de fraudes e ligações irregulares, comuns em áreas de baixa fiscalização, impacta diretamente a arrecadação e a equidade na distribuição da água (Perdas de água 2022, 2022).

De acordo com o Gráfico 2, na região Nordeste os estados mais afetados são: Sergipe com 57,60%, Maranhão com 57% e Rio Grande do Norte com 49,30%, conforme ilustrado no Gráfico 2.

Região Sudeste

A Região Sudeste apresenta o menor índice de perdas na distribuição, com 33,90%, (Gráfico 1), resultado de investimentos contínuos na modernização da infraestrutura hídrica e na adoção de tecnologias de monitoramento, como sensores de vazamento e sistemas de telemetria (ANA, 2022). Essas soluções permitem a detecção precoce de vazamentos e a otimização do controle operacional.

No entanto, desafios persistem especialmente em áreas densamente povoadas, onde a sobrecarga dos sistemas e a falta de manutenção adequada podem comprometer a eficiência do abastecimento. Além disso, falhas na medição de consumo e cadastros desatualizados ainda impactam o controle das perdas. Apesar de a incidência de fraudes ser menor do que no

Norte e Nordeste, elas ainda ocorrem em ocupações informais e regiões periféricas.

Conforme o Gráfico 2, na região sudeste os estados com menores índices de perdas são: Rio de Janeiro com 32% e São Paulo com 34,10%.

Região Sul

A Região Sul que apresenta um índice de perdas de 36,7%, (Gráfico 1), se beneficia de um regime de chuvas mais estáveis e de políticas voltadas à conscientização do uso racional da água (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2020). O investimento em infraestrutura e tecnologia tem contribuído para a redução do desperdício, embora vazamentos e falhas operacionais ainda sejam desafios significativos (SNIS, 2022).

Apesar da boa infraestrutura de saneamento, áreas rurais e cidades históricas enfrentam dificuldades devido à falta de tecnologia para monitoramento de perdas e à menor eficiência dos sistemas municipais (IPEA, 2023).

Com base no Gráfico 2 os estados com os menores índices de perdas na região Sul são: Santa Catarina com 34,70% e Paraná com 35,10%.

Região Centro-Oeste

A Região Centro-Oeste apresenta um índice de perdas de 35,1% (Gráfico 1), influenciado pelo rápido crescimento urbano e pela intensa demanda hídrica do agronegócio (ANA, 2022). Embora sua infraestrutura seja relativamente recente e tenha contribuído para a redução de desperdícios, desafios ainda persistem como a falta de manutenção em áreas distantes e a desatualização dos registros de consumo (Brasil, 2022).

A elevada demanda do setor agropecuário sobrecarrega os sistemas urbanos, frequentemente projetados para demandas menores. Além disso, a ausência ou ineficiência de hidrômetros compromete o controle do consumo e a identificação de

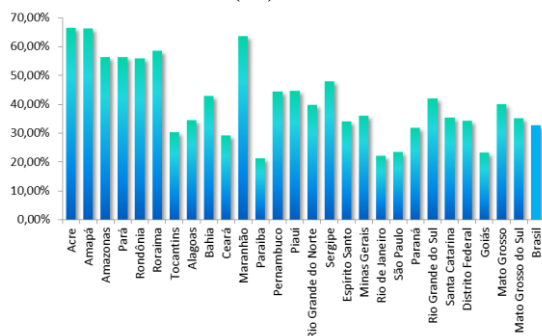
perdas, dificultando a gestão eficiente da distribuição (IPEA, 2023).

Segundo o Gráfico 2 os estados com os menores índices de perdas da região Centro-Oeste são: Goiás com 28,30% e Mato Grosso do Sul com 33,20%.

Índice de Perdas de Faturamento Total (IPFT) por Estados

O Gráfico 3 apresenta o percentual de perdas de água em relação ao faturamento total nos estados brasileiros, considerando tanto perdas físicas quanto aparentes.

Gráfico 3 - Índice de perdas de água por faturamento total (%).



Fonte: elaborado pela própria autora com base no SNIS, 2022.

Os estados com as maiores perdas de faturamento são: Acre, Amapá, Maranhão e Roraima. Por outro lado, estados como Paraíba, Rio de Janeiro e São Paulo apresentam os menores índices.

Os estados do Acre, Amapá e Maranhão apresentam os maiores índices de perdas de faturamento no Brasil com 66,42%, 66,22% e 63,64%, respectivamente (Gráfico 3). Nessas localidades, as perdas decorrem, principalmente, de instalações não registradas, manipulações indevidas no sistema e falhas no registro de consumo, que comprometem a arrecadação das concessionárias (Tundisi; Matsumura-Tundisi, 2020).

Roraima com índice de perdas de faturamento de 58,42% (Gráfico 3), também apresenta um alto índice de perdas,

com desafios semelhantes. A baixa cobertura de hidrômetros funcionais e falhas no cadastro de consumidores resultam em um grande volume de água distribuída sem registro adequado. Ademais, a falta de controle na arrecadação e problemas administrativos, como dificuldades na emissão de contas e erros na gestão de pagamentos comprometem ainda mais o equilíbrio financeiro do sistema de abastecimento (ANA, 2022).

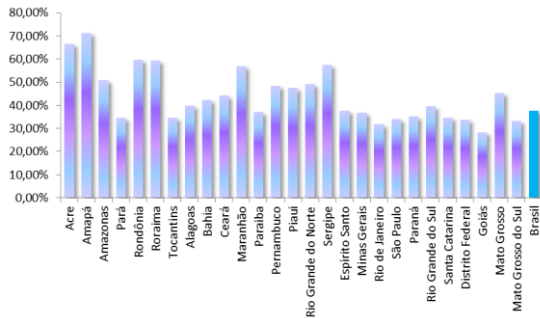
Considerando os baixos índices de perdas de faturamento, a Paraíba se destaca com 21,16% (Gráfico 3), isso devido a investimentos constantes em fiscalização rigorosa e atualização cadastral dos consumidores, garantindo um controle mais eficiente do consumo. O uso de tecnologia na medição, como hidrômetros modernos e sistemas de monitoramento remoto, contribui para minimizar irregularidades e erros administrativos (SNIS, 2022).

Os estados do Rio de Janeiro e São Paulo também apresentam índices de perdas de faturamento baixos com 22,04% e 23,32%, respectivamente (Gráfico 3), devido ao uso de tecnologia avançada, como telemetria, hidrômetros precisos, fiscalização rigorosa de fraudes e ligações clandestinas. A constante atualização dos cadastros de consumidores e a política tarifária progressiva, que incentiva o uso racional da água, também contribuem para a eficiência na arrecadação e a melhoria da infraestrutura (Perdas de água 2022, 2022; ANA, 2022).

Índice De Perdas Na Distribuição (IPD) por Estados

O gráfico 4 apresenta o percentual de perdas de água em relação à distribuição nos estados brasileiros, considerando as perdas físicas.

Gráfico 4 - Índice de perdas de água na distribuição (%).



Fonte: elaborado pela própria autora com base no SNIS, 2022.

Entre os estados com maiores perdas de distribuição, destacam-se Amapá, Acre e Rondônia. Por outro lado, estados como Goiás, Rio de Janeiro e São Paulo apresentam menores índices.

Os estados do Amapá, Acre e Rondônia apresentam os maiores índices de perdas de água nas redes de distribuição do Brasil, com 71,14%, 66,61% e 59,81%, respectivamente (Gráfico 4). Nesses estados, os problemas são causados, principalmente, pela infraestrutura antiga e pela falta de manutenção preventiva, o que leva a frequentes vazamentos e dificuldade na detecção e correção dos mesmos (A solução [...], 2018).

As tarifas abaixo da média nacional, como a do Acre de R\$ 3,45/m³ (ABAR, 2023), limita a capacidade de investimento nas tecnologias necessárias para monitoramento e renovação da infraestrutura, restringindo a implementação de soluções eficazes para reduzir as perdas de água.

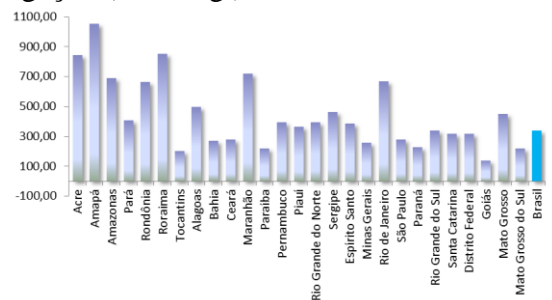
Por outro lado, os estados de Goiás, Rio de Janeiro e São Paulo apresentam índices de perdas de água na distribuição bem mais baixos, com 28,34%, 31,97% e 34,09%, respectivamente (Gráfico 4). Esses resultados são reflexos de investimentos contínuos em infraestrutura moderna, como o uso de sensores de vazamento e o controle de pressão nas redes de distribuição (BNDES, 2024). As tarifas mais altas, como a de Goiás R\$ 6,00/m³ (ABAR, 2023), permitem que as companhias de saneamento invistam na renovação das redes e na manutenção preventiva. Além disso, programas educativos e políticas de

fiscalização mais rigorosas também contribuem para o uso consciente da água e para a redução das perdas.

Índice de Perdas por Ligação (IPL) por Estados

O Gráfico 5 apresenta o índice de perdas de água por ligação (L/dia/lig.) nos estados brasileiros, considerando tanto as perdas físicas quanto aparentes.

Gráfico 5 - Índice de perdas de água por ligação (L/dia/lig.).



Fonte: elaborado pela própria autora com base no SNIS, 2022.

Entre os estados com maiores perdas por ligação, destacam-se Amapá, Acre, Roraima, Maranhão e Rio de Janeiro. Em contrapartida, estados como Goiás, Tocantins e Mato Grosso do Sul apresentam menores índices de perdas.

Os estados do Amapá, Acre e Roraima apresentam índices elevados de perdas de água por ligação, com 1053,78 L/dia/lig, 842,46 L/dia/lig e 850,93 L/dia/lig, respectivamente (Gráfico 5). A principal causa dessas perdas está na infraestrutura antiga e no uso de materiais inadequados nas conexões domiciliares, que favorecem vazamentos constantes (Causas [...], 2021).

Além disso, a falta de manutenção preventiva e a dificuldade de acesso para reparos agravam ainda mais o problema. Esses estados também enfrentam desafios relacionados a interferências externas, como obras urbanas sem planejamento adequado, que comprometem a eficiência do sistema de abastecimento (Perdas de água [...], 2020).

O Maranhão e o Rio de Janeiro apresentam índices de perdas por ligação de 718,57 L/dia/lig e 667,04 L/dia/lig, respectivamente (Gráfico 5). No Maranhão, os altos índices de perdas estão associados à infraestrutura antiga e à expansão desordenada das áreas urbanas, fatores que dificultam a manutenção e modernização das redes de abastecimento (Causas [...], 2021).

Já no Rio de Janeiro, além da idade avançada da infraestrutura, as perdas são agravadas por vazamentos em ramais prediais e interferências externas, como obras que danificam as tubulações (Perdas de água [...], 2020). Um aspecto particular do Rio de Janeiro é seu alto grau de verticalização e o elevado consumo per capita, que acabam contribuindo para um índice de perdas mais elevado, mesmo com a implementação de programas de detecção e controle de perdas (Perdas de água [...], 2015).

Por fim, os estados de Goiás, Tocantins e Mato Grosso do Sul se destacam por apresentarem índices muito mais baixos de perdas de água por ligação, com 133,87 L/dia/lig, 200,87 L/dia/lig e 216,38 L/dia/lig, respectivamente (Gráfico 5). O bom desempenho desses estados é reflexo de investimentos contínuos em materiais de alta qualidade para as conexões domiciliares, além da modernização da infraestrutura de distribuição.

Goiás, em particular, se destaca pelo uso de tecnologias avançadas para detecção de vazamentos, enquanto Tocantins e Mato Grosso do Sul se beneficiam da substituição de ramais prediais antigos e da implementação de programas eficazes de fiscalização e manutenção preventiva, garantindo a redução das perdas de água tratada (Causas [...], 2021).

A análise dos índices de perdas de água revela desafios significativos em estados como Amapá, Acre e Maranhão, onde a infraestrutura precária e a baixa fiscalização contribuem para desperdícios elevados. Em contrapartida, estados como São Paulo e Goiás apresentam maior

eficiência, resultado de investimentos contínuos em modernização e gestão estratégica.

Abordagens tecnológicas e estratégias de gestão para a redução do desperdício de água

A redução do desperdício de água em sistemas de abastecimento requer a implantação das seguintes soluções tecnológicas:

- Micromedição e macromedição inteligente;
- Setorização da rede e distritos de medição e controle (DMCs);
- Balanço hídrico e Vazão Mínima Noturna (VMN);
- Uso de sensores acústicos;
- Uso de inteligência artificial (IA) para análise de perdas;
- Controle de pressão com Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs);
- Calibração hidráulica;
- Digitalização do cadastro comercial;
- Fiscalização de ligações clandestinas;
- Implementação de um plano estruturado de manutenção preventiva e renovação de infraestrutura.

Micromedição e macromedição

Uma das soluções mais eficazes para reduzir o desperdício de água é a adoção de sistemas avançados de micromedição e macromedição. A micromedição inteligente, por meio de hidrômetros eletrônicos ou ultrassônicos, permite a leitura remota e em tempo real, facilitando a detecção de vazamentos e fraudes, além de minimizar erros humanos.

A macromedição, por sua vez, envolve a instalação de medidores de grande porte em pontos estratégicos da rede, possibilitando a comparação entre volumes distribuídos e consumidos, o que contribui para uma identificação mais

precisa do desperdício e irregularidades (Costa *et al.*, 2009).

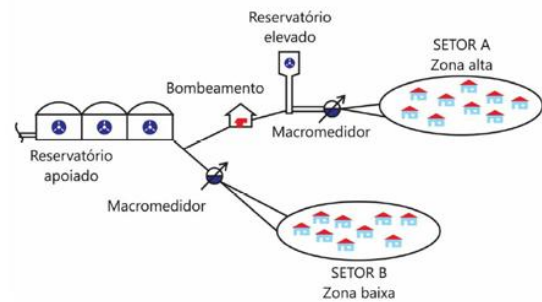
Exemplos práticos demonstram a eficácia dessas tecnologias: Em São Paulo, a SABESP substituiu hidrômetros mecânicos por eletrônicos, garantindo leitura remota e detecção instantânea de anomalias no consumo, o que reduziu as perdas comerciais em até 15% (Silva; Barros, 2021). Já no Rio Grande do Sul, a instalação de macromedidores contribuiu para uma redução de até 30% nas perdas aparentes, melhorando a eficiência operacional (Mâncio; Gonzalez, 2023).

Setorização da rede e distritos de medição e controle (DMCs);

A setorização da rede de distribuição é outra estratégia fundamental para o controle da pressão nas tubulações. A divisão do sistema em Distritos de Medição e Controle (DMCs) permite um monitoramento preciso da vazão, pressão e volume de água distribuído em cada setor, facilitando a detecção de anomalias como vazamentos e desvios de consumo (Nogueira, 2023).

A implementação dessa estratégia já apresentou resultados positivos. Em Cocalzinho de Goiás, a adoção dos DMCs reduziu em média 19% das perdas reais, otimizando o controle da distribuição (Queiroz, 2016). Em Guarulhos-SP, a segmentação da rede permitiu a rápida identificação de vazamentos e melhorou a atuação das equipes de manutenção, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência do sistema (Pinto, 2023). A Figura 5 demonstra a setorização da rede de distribuição.

Figura 5- Setorização clássica em sistemas distribuidores de água.



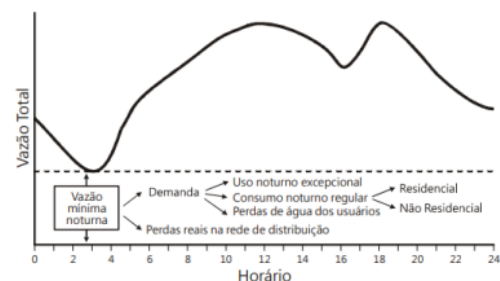
Fonte: Melo, 2013 *apud* Guimarães, 2016. p. 30.

Balanco hídrico e Vazão Mínima Noturna (VMN)

O balanço hídrico e a Vazão Mínima Noturna (VMN) são metodologias eficientes para identificar perdas ocultas e otimizar a gestão do abastecimento. Essas técnicas analisam o fluxo de água durante períodos de menor consumo, geralmente à noite, facilitando a detecção de vazamentos e permitindo intervenções rápidas (IWA, 2020).

Durante a madrugada, a demanda dos consumidores é reduzida, e qualquer volume anormal registrado na rede pode indicar perdas significativas (IWA, 2000). A implementação do balanço hídrico e da VMN, aliada ao monitoramento contínuo e à modernização da infraestrutura, tem demonstrado impactos positivos, conforme Figura 6.

Figura 6 - Gráfico com componentes da vazão mínima noturna.



Fonte: Bezerra; Cheung, 2013.

Uso de sensores acústicos

O uso de sensores acústicos, como geofones e hastes de escuta, tem se destacado na detecção precoce de vazamentos ocultos na rede de distribuição.

Esses dispositivos captam ruídos anormais gerados pelo fluxo de água sob pressão, permitindo a localização de vazamentos sem a necessidade de escavações extensivas (Soares *et al.*, 2014).

Essa tecnologia é essencial para reduzir perdas reais, possibilitando a identificação de vazamentos subterrâneos antes que se tornem visíveis e permitindo ações corretivas mais rápidas. A integração com georreferenciamento e inteligência artificial (IA) melhora significativamente a taxa de detecção de falhas e aumenta a eficiência operacional (Moura *et al.*, 2014).

No Rio de Janeiro, a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) utilizou sensores acústicos para monitorar a rede de abastecimento, reduzindo em 18% as perdas reais de água em áreas com histórico de vazamentos frequentes (Costa *et al.*, 2021). A rapidez na detecção e no reparo foi um fator crucial para essa redução. As Figuras 7 e 8 apresentam a utilização dos sensores acústicos, sendo o geofone e haste de escuta, respectivamente.

Figura 7 - Operador utilizando o geofone.



Fonte: Sabesp, 2014 *apud* Melato, 2023. p. 75.

Figura 8 - Operador utilizando a haste de escuta.



Fonte: Sabesp, 2014 *apud* Pinto, 2023. p. 49.

Uso de inteligência artificial (IA)

O uso da Inteligência Artificial (IA) tem se destacado como uma ferramenta inovadora na redução de perdas hídricas, possibilitando a análise de padrões de consumo, a previsão de vazamentos ocultos e a otimização do trabalho das equipes de fiscalização. Com uma abordagem proativa, a IA identifica vazamentos antes que se tornem críticos, contribuindo para a redução de desperdício e o aumento da eficiência operacional.

Em Curitiba-SC, Campos (2022) avaliou a eficácia da IA na detecção de vazamentos com a plataforma SmartAcqua, que usa aprendizado de máquina e georreferenciamento para mapear áreas críticas e identificar inconsistências no consumo. O sistema analisava o consumo em tempo real, detectava padrões anômalos e utilizava mapas de calor para indicar regiões com maior incidência de perdas, complementando a detecção com sensores acústicos.

Controle de pressão com Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs)

A pressão excessiva na rede de distribuição é uma das principais causas de vazamentos e rompimentos. Para mitigar esse problema, a instalação de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs) tem se mostrado eficaz, pois estabiliza a pressão e previne oscilações que comprometem a integridade das tubulações (Soares *et al.*, 2004).

Em Olinda-PE, essa tecnologia reduziu significativamente os vazamentos e aumentou a vida útil da rede. Reduzindo a pressão em 50% e diminuindo as perdas reais em até 29% (Souza, 2016). Na Figura 9 é possível observar a instalação de uma VRP.

Figura 9 - Instalação de uma válvula redutora de pressão.



Fonte: Sabesp, 2014 *apud* Melato, 2023. p. 73.

Calibração hidráulica

A calibração hidráulica desempenha um papel fundamental no ajuste dos parâmetros operacionais da rede de distribuição, garantindo um abastecimento eficiente e minimizando perdas decorrentes de pressão excessiva e falhas estruturais. Para maximizar sua eficácia, concessionárias devem adotar softwares de simulação e sensores inteligentes, que permitem a coleta de dados em tempo real sobre pressão, vazão e demanda (Oliveira; Jucá; Teixeira, 2015).

A integração dessas tecnologias possibilita a automação dos ajustes operacionais, reduzindo a necessidade de intervenções manuais e otimizando a distribuição de água (Vasconcelos; Rocha; Alexandria, 2018). Esse processo contribui para um controle mais preciso da rede, prevenindo desperdícios e melhorando a eficiência do sistema. A Figura 10 mostra profissionais realizando a calibração de um

macromedidor em uma rede de abastecimento.

Figura 10 - Profissionais calibrando macromedidor.



Fonte: Sabesp, 2014 *apud* Melato, 2023. p. 81.

Digitalização do cadastro comercial

A digitalização do cadastro comercial é uma estratégia fundamental para otimizar a gestão dos sistemas de abastecimento, reduzir perdas aparentes e aprimorar o controle do consumo. Esse processo moderniza os registros de clientes e ligações de água, integrando-os a sistemas informatizados e de georreferenciamento, o que facilita a identificação de inconsistências (Almeida, 2022).

Além de minimizar falhas administrativas, essa atualização melhora a arrecadação das concessionárias, reduz manipulações indevidas, conexões irregulares e possibilita uma fiscalização mais eficiente. A modernização cadastral também permite ajustes operacionais mais precisos, alinhando a distribuição de água à demanda real, o que contribui para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos.

Fiscalização de ligações clandestinas

A fiscalização de ligações clandestinas é essencial para reduzir perdas comerciais, que representam cerca de 20% do desperdício de água no Brasil devido a fraudes e desvios ilegais (Perdas de água 2022, 2022). A falta de fiscalização rigorosa impacta a arrecadação das concessionárias e

compromete a sustentabilidade do abastecimento.

Para mitigar esse problema, concessionárias têm investido em tecnologias avançadas, como georreferenciamento, cruzamento de dados cadastrais e monitoramento digital, facilitando a detecção de imóveis com consumo irregular (Moura *et al.*, 2014).

Implementação de um plano estruturado de manutenção preventiva e renovação de infraestrutura

A manutenção preventiva é uma estratégia fundamental na redução das perdas reais nos sistemas de abastecimento, permitindo a identificação antecipada de falhas e prevenindo desperdícios causados por vazamentos e rompimentos. Para enfrentar esses desafios, os Planos Estaduais de Saneamento Básico (PESB) estabelecem diretrizes para modernizar a infraestrutura e otimizar a gestão da água. Em Pernambuco, o PESB enfatiza investimentos em tecnologia e capacitação técnica para reduzir desperdícios e melhorar a eficiência operacional (COMPESA, 2023).

Por fim, a modernização da infraestrutura, que inclui a substituição de tubulações antigas por materiais como Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e PVC de alta resistência, é essencial para reduzir falhas e melhorar a vida útil da rede. O PEAD, altamente resistente à corrosão, e o PVC de alta pressão, pela sua facilidade de instalação e menor necessidade de manutenção, têm se mostrado eficazes. Tecnologias complementares, como revestimentos internos para tubulações metálicas, também contribuem para prolongar a vida útil da infraestrutura existente. A figura 11 compara um trecho de tubulação antiga com severa corrosão e obstrução a uma tubulação reabilitada.

Além disso, o Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026/2020)

reforça a necessidade de universalizar o saneamento e modernizar a infraestrutura para reduzir perdas e garantir a sustentabilidade dos sistemas de abastecimento (Brasil, 2020).

Figura 11 - Comparativo entre um trecho de rede antigo e outro reabilitado.



Fonte: Sabesp, 2014 *apud* Melato, 2023. p. 73.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O desperdício de água nas redes de distribuição no Brasil compromete a eficiência do abastecimento e a sustentabilidade dos recursos hídricos, sendo causado, principalmente, por falhas estruturais, vazamentos, irregularidades e erros na medição do consumo.

Diante desse cenário, a adoção de soluções tecnológicas, como a setorização da rede, o uso de sensores inteligentes, a inteligência artificial para monitoramento e a automação dos sistemas de controle, tem se mostrado essencial para minimizar o desperdício. Aliado a isso, a implementação do Marco Legal do Saneamento Básico e o fortalecimento dos Planos Estaduais de Saneamento Básico são passos fundamentais para aprimorar a eficácia dos sistemas de abastecimento.

Sendo assim, investir no aprimoramento das tecnologias de detecção de vazamentos, na ampliação do uso de hidrômetros inteligentes e na adoção de políticas públicas mais rigorosas é indispensável para garantir uma gestão

hídrica mais sustentável e um fornecimento eficiente de água para a população brasileira.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2021. *Site*. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 08 dez. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, [2022]. *Site*. Disponível em: <https://www.ana.gov.br>. Acesso em: 31 mar. 2025.

ALEGRE, Helena; BAPTISTA, José M.; CABRERA Jr., Enrique; CUBILLO, Francisco; DUARTE, Pedro; HIRNER, Wolfram; MERKEL, Wolf; PARENTE, Renato. **Performance Indicators for Water Supply Services**. 2. ed. Londres: International Water Association, jan. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/21936068_Performance_Indicators_for_Water_Supply_Services. Acesso em: 10 nov. 2024.

ALMEIDA, G. R. O. **Análise dos índices de perdas de água na rede de distribuição da zona urbana de Inhapi/AL e possíveis soluções**. 2022. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Unidade Delmiro Gouveia - Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2022. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/9361>. Acesso em: 10 nov. 2024.

ANDRADE SOBRINHO, R.; BORJA, P. C. **Gestão das perdas de água e energia**

em sistema de abastecimento de água da Embasa: um estudo dos fatores intervenientes na RMS. Engenharia Sanitária e Ambiental, [s. l.], v. 21, n. 4, p. 783-795, out./dez. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/BhgFHQQ3TZ84xXYfgRk8Dvt/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

A SOLUÇÃO da água no Amapá pode vir da redução das perdas, artigo de Adrimauro Gemaque. [S. l.]: Eco Debate, 2018. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2018/03/26/a-solucao-da-agua-no-amapa-pode-vir-da-reducao-das-perdas-artigo-de-adrimauro-gemaque/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGÊNCIAS DE REGULAÇÃO. [S. l.]: ABAR, [2023]. *Site*. Disponível em: <https://www.abar.org.br>. Acesso em: 31 mar. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água**: posicionamento e contribuições técnicas da ABES. São Paulo: ABES, 2015. Disponível em: https://abes-dn.org.br/pdf/28Cbesa/Perdas_Abes.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025

BNDES prevê investimentos totais de R\$ 83 bi em projetos de água e esgoto de sete estados. [S. l.]: Agência BNDES, 2024. *Site*. Disponível em: [https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-preve-investimentos-totais-de-R\\$-83-bi-em-projetos-de-agua-e-egoto-de-sete-estados/#:~:text=As%20iniciativas%2C%20em%20sete%20estados,%2C%20bilh%C3%A3o%20do%20BNDES](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/BNDES-preve-investimentos-totais-de-R$-83-bi-em-projetos-de-agua-e-egoto-de-sete-estados/#:~:text=As%20iniciativas%2C%20em%20sete%20estados,%2C%20bilh%C3%A3o%20do%20BNDES)). Acesso em: 15 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**.

Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 127, 7 maio 2021. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=07/05/2021&jornal=515&pagina=127>. Acesso em: 10 nov. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico temático dos serviços de água e esgoto dez/2023**. Brasília: SNIS, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos-snis>. Acesso em: 10 nov. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no país. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 08 dez. 2024.

CAMPOS, F. S. **Uso de solução sistematizada e com inteligência artificial no planejamento de ações de combate a perdas de água em sistemas urbanos de abastecimento**: estudo de caso em Santa Catarina, Brasil. *In*: Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, 33., 2022, São Paulo. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/364756934_USO_DE_SOLUCAO_SISTEMATIZADA_E_COM_INTELIGENCIA_ARTIFICIAL_NO_PLANEJAMENTO_D_E_ACOES_DE_COMBATE_A_PERDAS_DE_AGUA_EM_SISTEMAS_URBANO

S_DE_ABASTECIMENTO_ESTUDO_D E_CASO_EM_SANTA_CATARINA_BRASIL. Acesso em: 10 dez. 2024.

CASTRO, César Nunes de; CEREZINI, Monise Terra. **Saneamento Rural no Brasil: a universalização é possível?**. Rio de Janeiro: IPEA, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11979/1/TD_2875_web.pdf. Acesso em: 13 jan. 2025.

CAUSAS e consequências das perdas em sistemas de abastecimento de água. [S. l.]: NOVUS, [202-]. *Blog*. Disponível em: <https://blog.novus.com.br/causas-e-consequencias-das-perdas-em-sistemas-de-abastecimento-de-agua/>. Acesso em: 15 jan. 2025.

CIRQUEIRA, J. L. **Análise do índice de perdas no sistema de abastecimento de água na cidade de Anápolis-GO**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil da Mobilidade) – Instituto Federal de Goiás, Anápolis, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifg.edu.br/handle/prefix/1687>. Acesso em: 08 nov. 2024.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. **Estratégia de Longo Prazo 2023-2027 e Plano Anual de 2023**. Recife: COMPESA, 2023. Disponível em: https://servicos.compesa.com.br/wp-content/uploads/2023/02/Plano-Anual-e-ELP_2023-2027.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

COSTA, Robson Fontes da. Áreas de controle e recorrência de vazamentos nas redes de distribuição – o combate às perdas reais. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25., 2009, Recife. **Anais [...]** Recife: ABES, 2009. Disponível em: https://abes-dn.org.br/anaiselétronicos/11_Download/TrabalhosCompletosPDF/XI-084.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

CUNHA, C. M. T.; SOUZA, G. J.; SILVA, R. C. P.; TAVARES, R. G.; ARRUDA, V. C. M. Análise das perdas nos sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife. **Revista GEAMA – Ciências Ambientais e Biotecnologia**, v. 4, n. 4, p. 009-013, dez. 2018. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/2116>. Acesso em: 13 dez. 2024.

ESTIMA, P. A. Q. **Análise das perdas de água no sistema de abastecimento de água do município de Flores - PE**. 2022. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/50779>. Acesso em: 05 nov. 2024.

ESTUDOS revelam que os tubos de PVC possuem vida útil de aproximadamente 100 anos. [S. l.]: Instituto Brasileiro do PVC, 2020. *Site*. Disponível em: <https://pvc.org.br/2020/01/estudos-revelam-que-os-tubos-de-pvc-possuem-vida-util-de-aproximadamente-100-anos/>. Acesso em: 08 dez. 2024.

FERREIRA, B. A. Z.; TOMAZ JUNIOR, V. A. **Controle em Perdas de Água Tratada em Franca/SP**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Meio Ambiente) – ETEC Prof. Carmelino Corrêa Júnior, Franca, São Paulo, 2022. Disponível em: <http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/handle/123456789/11351>. Acesso em: 05 jan. 2025

FERREIRA, Johann Krol Ricardo Souza. **Controle de perdas reais em sistemas de distribuição de água potável: análise da redução de consumo**. 2023. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual

Paulista Garatinguetá, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/e66f6a0a-a6f1-4b0c-984a-72f889787ee0/content>. Acesso em: 05 jan. 2025.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. Brasília: FUNASA, 2014. Disponível em: <https://repositorio.funasa.gov.br/handle/123456789/506>. Acesso em: 16 dez. 2024.

QUAL a durabilidade do encanamento de um edifício? Qual o melhor material para as tubulações hidráulicas? [S. l.]: GEDORE, 2016. *Blog*. Disponível em: <https://blog.gedore.com.br/qual-a-durabilidade-do-encanamento-de-um-edificio-qual-o-melhor-material-para-as-tubulacoes-hidraulicas/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

GOULART, J. S. **Abastecimento de água: uma visão integrada**. São Paulo: Editora Manole, 2015.

GUIMARÃES, E. S. B. **Redes de distribuição de água em Canoas: análise de índices de perdas após implantação de melhorias no CCO**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/148835>. Acesso em: 05 jan. 2025.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION. **Leak Detection in Water Distribution Networks**. [S. l.]: IWA, 2020. *Site*. Disponível em: <https://www.iwa-network.org>. Acesso em: 13 jan. 2025.

KUSTERKO, F. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. **Eng. Sanit. Ambiental**, [s. l.], v.23, n. 3, maio/jun 2018, 615-626 Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/Rn6rhxLMbP6NyLNGR3YmJLx/?format=pdf>. Acesso em: 05 nov. 2024.

LAMBERT, A. International report: water losses management and techniques. **Water Supply**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. 1-20, set. 2002. Disponível em: <https://iwaponline.com/ws/article-abstract/2/4/1/25630/International-Report-Water-losses-management-and?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 03 nov. 2024.

LIBÂNIO, Mário Leite do Carmo. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 2. ed. Campinas: Editora Átomo, 2010.

MÂNCIO, Vagner Gerhardt; GONZALEZ, Demétrius Jung. Avaliação das perdas de água na rede de distribuição utilizando controle estatístico de processo. **Boletim regional, urbano e ambiental**, [s. l.], v. 29, p. 118-126, jan./jun. 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12181/1/BRUA_29_Artigo_10_avaliao_das_perdas_de_agua_na_rede.pdf. Acesso em: 03 nov. 2024.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: <https://www.ibdp.org.br/wp-content/uploads/2024/05/Lakatos-e-Marconi-Metodo-Cientifico.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2024.

MELATO, D. S. **Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo**. 2020. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-17082010->

092608/publico/Dissertacao_Debora_S_Melato.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

MOURA, E. M.; DIAS, I. C. S.; SILVA, J. S.; SILVA, F. C. Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas. In: SEMINÁRIO HISPANO-BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, 4., João Pessoa, 8-10 nov. 2004. **Anais [...]**. João Pessoa: UFPB, 2004. Disponível em: https://www.academia.edu/94180183/Abordagem_Sobre_Perdas_De_%C3%81gua_Em_Sistemas_De_Abastecimento_Breve_Explana%C3%A7%C3%A3o_Sobre_Os_Tipos_e_Principais_Causas. Acesso em: 05 de dez. 2024.

NOGUEIRA, F. P. Protocolo tecnológico aplicado a sistemas de abastecimento de água de médio porte visando à eficiência hídrica e à redução de perdas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 29, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/B3KTNGpVxhSL9PhMdBqFJMj/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 jan. 2025.

OLIVEIRA, M. S. de; JUCÁ, J. F. T.; TEIXEIRA, M. A. C. Calibração multivariada de redes de abastecimento de água via algoritmo genético multiobjetivo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 503–512, jul./set. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000099484>. Acesso em: 24 fev. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2021: o valor da água**. Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375750_por. Acesso em: 13 jan. 2025.

PERDAS de água: o grande desafio do abastecimento de água no Brasil. [S. l.]: BRK Ambiental, 2020. *Blog*. Disponível em:

<https://blog.brkambiental.com.br/perdas-de-agua/>. Acesso em: 13 jan. 2025.

PERDAS de água: desafios ao avanço do saneamento básico e à escassez hídrica. [S. l.]: FIESP, [2015]. Disponível em:

<https://sitefiespstorage.blob.core.windows.net/uploads/2015/06/edison-carlos.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

PERDAS de Água 2022. [S. l.]: Instituto Trata Brasil, 2022. Disponível em:

<https://tratabrasil.org.br/perdas-de-agua-2022/>. Acesso em: 05 jan. 2025.

PHILIPPI JUNIOR, A. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. *In*: CONGRESSO INTERDISCIPLINAR SAÚDE, EDUCAÇÃO, AMBIENTE, Ribeirão Preto, 12-15 jun. 2008. **Anais** [...]. Ribeirão Preto: [s. n.], 2008.

Disponível em:

<https://repositorio.usp.br/item/002150142>. Acesso em: 14 dez. 2024.

PINTO, C. K. Y. **Análise crítica das técnicas e estratégias de controle de perdas de água em sistemas de abastecimento**: uma revisão de literatura. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Lagoa do Sino, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/items/0516a631-a31d-4de9-9dcd-a3e49e05ce0c>. Acesso em: 13 dez. 2024.

QUEIROZ, R. M. **Redução de perdas físicas empregando a setorização de redes de distribuição de água**: estudo de caso Cocalzinho de Goiás-GO. 2016. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Goiás, Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo,

Anápolis, 2016. Disponível em:

https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UEG-2_16b7db81cc51135fb487e674230b75b5. Acesso em: 05 dez. 2024.

SILVA, R. A.; BARROS, T. L. **Sistema de abastecimento de água**: perda de água no processo de distribuição. 2021. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2021. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/18437/1/03_2021_2_RAFAEL_THULIO.pdf. Acesso em: 05 dez. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Relatório de perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento de água**. Brasília, DF: SNIS, 2020. *Site*. Disponível em <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis>. Acesso em: 15 nov. 2024.

SOARES, Alexandre Kepler *et al.* Avaliação das perdas físicas de um setor da rede de abastecimento de água de Campo Grande-MS via modelo inverso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. 312-321, out./dez. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/8M7hGfD6JRGLbVGp6TbFrrP/?lang=pt>. Acesso em: 13 dez. 2024.

SOARES, W. F.; SOUZA, A. F. S. **Estudo de caso no abastecimento de água do município de Belém nas localidades administrativas UniNorte e UniSul**: utilizando métodos de pesquisa de vazamentos, detecção e retirada de irregularidades. 2023. 140 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, 2023. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br/bitstream/prefix/6114/1>

/TCC_EstudoCasoAbastecimento.pdf.
Acesso em: 13 dez. 2024.

SOUSA, Renato de. **Uso de válvulas redutoras de pressão na otimização de rede setorizada de distribuição de água.** 2017. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017. Disponível em:

<https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/12883>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SOUZA, D. L. A. **Análise dos impactos ambientais relacionados às perdas de água em rede de distribuição:** estudo de caso em Olinda/PE. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPE_e22fcebd6f155b140eaf7c7542109fbb. Acesso em: 16 dez. 2024.

TONIN, M. R. **Análise do golpe de aríete:** estudo de caso para a adutora de água bruta da represa Capim Branco em Uberlândia/MG. 2024. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/44319>. Acesso em: 16 jan. 2025.

TUBO PEAD para redes de distribuição. [S. l.]: FGS Brasil, [202-]. *Site*. Disponível em: <https://fgsbrasil.com.br/produto/tubo-pead-para-redes-de-distribuicao/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **A Água.** São Carlos: Editora Scienza, 2020. 138 p. Disponível em: https://sbhsf.com.br/wp-content/uploads/2020/08/novo_A_AGUA.pdf. Acesso em: 13 dez. 2024.

VASCONCELOS, F. B.; ROCHA, M. X.; ALEXANDRIA, A. R. de. Automação em um sistema de tratamento e distribuição de água: um estudo de caso. **Conexões, Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 12, n. 3, p. 25–39, 2018. Disponível em: <https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/1323/1263>. Acesso em: 24 fev. 2025.

YOSHIMOTO, M. K. **Diagnóstico e proposição de medidas para o controle das perdas de água no sistema de abastecimento de Guaratinguetá (SP).** 2015. 47 f. Trabalho de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/9c9bc0f1-0e36-44df-9953-35c28a00213d/content>. Acesso em: 15 dez. 2024.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me sustentar e me ajudar a chegar até aqui. Sem Sua força e orientação, nada disso seria possível. A Ele, toda honra e glória. Aos meus familiares, em especial à minha mãe, Enelma Maria, e ao meu pai, Aureliano Aniceto, que sempre me apoiaram e nunca deixaram faltar nada. À minha companheira, Claudiene Lins, por ser minha maior incentivadora, meu alicerce. À UFRPE e aos meus professores, que contribuíram para a minha evolução durante todos esses anos. Ao meu orientador, Dr. Robson Silva, por sua dedicação e orientação, que foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. Aos meus amigos de graduação, que muitas vezes foram âncoras em momentos de dificuldade.