AÇÕES ESTRATÉGICAS E ASSERTIVAS PARA O COMBATE, CONTROLE E GESTÃO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE VIÇOSA DO CEARÁ – CE, COM IMPLEMENTAÇÃO DE DISTRITO DE MEDIÇÃO E CONTROLE – DMC

Francisco Edirlan de Sousa Freitas[(1)]
Mestre em Energia e Meio Ambiente - Universidade da Lusofonia Afro-Brasileira – UNILAB. Químico - Universidade Federal do Ceará – UFC. Graduando em Engenharia Civil. Especialista em Engenharia Ambiental e em Gestão de Projetos em Recursos Hídricos pelo Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE. Supervisor Técnico de Combate às Perdas e Medição da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece.
Messias Rômulo Rodrigues Marques[(2)]
Engenheiro Sanitarista e Tecnólogo em Saneamento Ambiental – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – IFCE. Coordenador de Serviços e Expansão da Companhia de Água e Esgoto do Ceará Cagece.
Emerson Santos da Conceição[(3)]
Engenheiro Agrícola e Ambiental - Centro Universitário – UNINTA. Desenhista Técnico vinculado a Supervisão de Redes da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece.
Aldenor Nunes Freire Neto[(4)]
Analista vinculado a Supervisão de Combate às Perdas e Medição da Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece.
Adriano de Araújo Aires[(5)]
Mestrando do Programa de Engenharia Civil(Recursos Hídricos) com área de concentração em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará – UFC. Graduado em Ciências e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA. Especialista em Engenharia e Segurança do Trabalho.

Endereço[(1)]**:** CE 187, Nº 50 – Bairro Zé Humberto - Tianguá - Ceará - CEP: 62.320-000 - Brasil - Tel: +55 (88) 99256-3736 - e-mail: edirlanfreitas@hotmail.com / edirlan.freitas@cagece.com.br

RESUMO

Este estudo avalia a eficácia de ações estratégicas para o combate, controle e gestão de perdas de água em sistemas de abastecimento com a implementação de Distritos de Medição e Controle (DMC) em Viçosa do Ceará – CE. A metodologia estrutura-se em cinco etapas interdependentes: levantamento de dados, tratamento estatístico, balanço hídrico, análise de indicadores de desempenho e avaliação crítica dos resultados. Os dados coletados entre 2022 e 2026 evidenciam redução expressiva no índice de perdas totais na distribuição (IAG2013), de 51,25% em 2023 para 34,25% em 2026, aproximando-se da média nacional (39,5%). O indicador de perdas por ligação (IAG2015) recuou de 309 l/lig/dia para 152 l/lig/dia no mesmo período. A substituição preventiva de hidrômetros e a setorização da rede em três DMCs (Setor 01: 1.930 ligações; Setor 02: 1.837; Setor 03: 1.344) foram determinantes para os resultados obtidos. Conclui-se que a implantação de DMCs aliada a ações integradas de micromedição e controle de pressão representa estratégia técnica eficiente para a redução de perdas reais e aparentes em sistemas de médio porte.

PALAVRAS-CHAVE: Perdas de água; Distrito de Medição e Controle; Indicadores de desempenho; Gestão de sistemas de abastecimento.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável à manutenção da vida e ao desenvolvimento das atividades humanas. Nos sistemas públicos de abastecimento, as perdas de água representam um dos maiores desafios operacionais, comprometendo a eficiência técnica, a sustentabilidade econômico-financeira dos prestadores de serviços e a disponibilidade hídrica para a população (TSUTIYA, 2006; FARLEY et al., 2008).

No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SINISA, 2025), as perdas médias na distribuição atingiram 39,5% (IAG2013) em 2024, com expressiva variação regional: 58,6% na região

Norte e 34,5% na região Sul. Esse cenário evidencia a heterogeneidade dos sistemas de abastecimento brasileiros e a necessidade de intervenções diferenciadas, adaptadas às realidades locais.

A Norma de Referência n.º 15/2025 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2025) define perdas nos subsistemas de distribuição como a diferença entre o volume disponibilizado e o consumo autorizado — faturado ou não faturado —, compreendendo perdas reais (físicas) e perdas aparentes (comerciais). As perdas reais decorrem de vazamentos em adutoras, ramais e reservatórios; as perdas aparentes resultam de falhas de medição, erros cadastrais, fraudes e ligações clandestinas (LAMBERT; THORNTON, 2011; BRASIL, 2014).

Diante desse cenário, a implementação de Distritos de Medição e Controle (DMC) configura-se como estratégia consagrada internacionalmente para a setorização de redes de distribuição, permitindo o monitoramento contínuo de pressões e vazões, a localização de vazamentos e o aprimoramento da gestão operacional (ALKASSEH et al., 2013; MUTIKANGA et al., 2013). Estudos recentes demonstram que a combinação de DMCs com ações de controle de pressão, substituição de hidrômetros e atualização cadastral pode promover reduções significativas nos índices de perdas em sistemas de diferentes portes (KINGDOM et al., 2021; SANTOS et al., 2023; CRIMINISI et al., 2022).

O município de Viçosa do Ceará, localizado na região serrana do estado, apresentava índices de perdas superiores a 47% em 2022, valor que supera a média nacional e impõe pressão sobre a disponibilidade hídrica local. O presente estudo parte da hipótese de que a adoção de ações integradas, articuladas em torno da implantação de DMCs, pode promover reduções expressivas e sustentáveis nos índices de perdas, com impactos positivos na eficiência operacional e na qualidade do serviço prestado.

OBJETIVO

O presente estudo tem como objetivo avaliar a eficácia de ações estratégicas e direcionadas para o combate, o controle e a gestão de perdas de água na rede de distribuição, por meio da implementação de Distritos de Medição e Controle (DMC) no município de Viçosa do Ceará – CE. A pesquisa busca analisar o desempenho desse modelo de gestão a partir da mensuração de indicadores de eficiência relacionados às perdas, preconizados em normas de referências, considerando, de forma integrada, aspectos técnicos, operacionais e comerciais do sistema de abastecimento. Nesse contexto, pretende-se investigar a contribuição da setorização da rede de distribuição associada à implantação de DMCs para a identificação, monitoramento, redução e gestão de perdas reais e aparentes, bem como para o aprimoramento dos processos de operação e gestão do sistema. A avaliação foi fundamentada na análise comparativa e temporal dos indicadores de desempenho antes e após a implementação das intervenções, permitindo verificar sua efetividade na otimização da eficiência operacional, na melhoria do controle hídrico e na sustentabilidade econômico-financeira dos serviços de abastecimento de água.

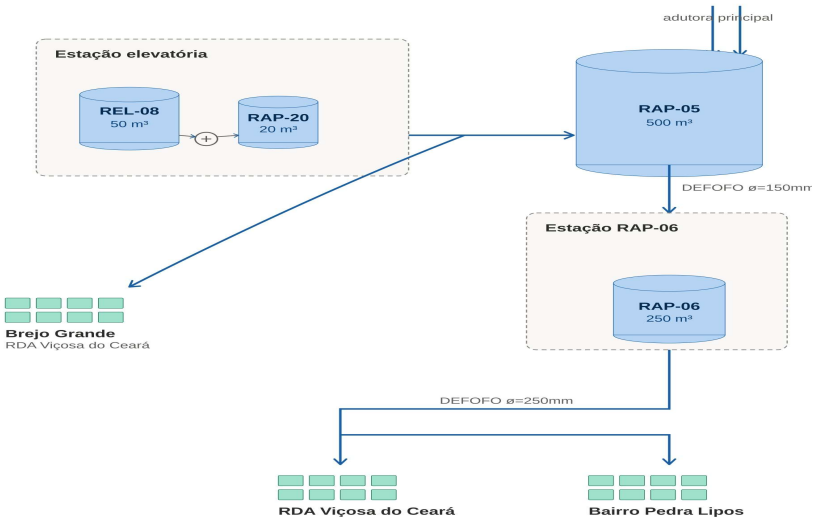
METODOLOGIA

A pesquisa caracteriza-se como estudo de caso de natureza aplicada, com abordagem predominantemente quantitativa e caráter descritivo-analítico (YIN, 2015). O objeto de análise é o sistema de abastecimento de água de Viçosa do Ceará – CE, gerenciado pela concessionária local, com base em dados operacionais e comerciais coletados entre 2020 e 2026.

A investigação fundamenta-se na análise integrada de informações técnicas, operacionais e comerciais, visando mensurar os impactos das intervenções realizadas sobre a eficiência do sistema de distribuição. Para tanto, foram empregados indicadores de desempenho operacional e o balanço hídrico como instrumentos de diagnóstico e avaliação. O desenvolvimento metodológico estrutura-se em cinco etapas interdependentes, conforme representado no Fluxograma 1 a seguir.

A pesquisa de levantamento de dados fundamenta-se na coleta, tratamento estatístico e validação das informações com base em histórico da série de dados ao longo do período. Essa prática é fundamental para a consolidação e posterior etapas fundamentais da presente pesquisa realizada.

Figura 01: Croqui esquemático do SAA de Viçosa do Ceará



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026)

Fluxograma 1 – Estrutura metodológica da pesquisa

1ª Etapa — Levantamento e coleta de dados

Obtenção e sistematização de dados operacionais, comerciais e técnicos: produção, macro e micromedição, histórico de vazamentos, cadastros e ordens de serviço.

▼

2ª Etapa — Tratamento e validação estatística dos dados

Verificação de consistência, eliminação de inconsistências e outliers, padronização de registros e validação da base de dados para análises subsequentes.

▼

3ª Etapa — Elaboração e análise do balanço hídrico

Quantificação dos componentes de perdas reais e aparentes por meio de balanço hídrico, com construção de indicadores de desempenho operacional.

▼

4ª Etapa — Análise dos indicadores de desempenho

Avaliação comparativa dos indicadores IAG2013, IAG2015 e IMPH antes e após a implantação dos DMCs e demais intervenções estratégicas.

▼

5ª Etapa — Discussão dos resultados e conclusões

Integração e análise crítica dos resultados, correlação com literatura científica, identificação de contribuições e recomendações para estudos futuros.

Fonte: Elaboração própria dos autores.

Os indicadores de desempenho adotados seguem as definições estabelecidas pelo SINISA e pela Norma de Referência n.º 15/2025 da ANA: índice de perdas totais na distribuição (IAG2013, em %), índice de perdas por ligação (IAG2015, em l/ligação/dia) e idade média do parque de hidrômetros (IMPH, em anos). A análise comparativa temporal abrange o período de 2020 a 2026, com ênfase na avaliação pré e pós-implementação dos DMCs. A setorização da rede resultou na criação de três DMCs, cujas características físicas e operacionais são

detalhadas nos resultados. O controle de pressão foi avaliado por meio de monitoramento contínuo com dataloggers, com aquisição de dados em intervalos de um minuto. As ações de micromedição compreenderam substituições preventivas e corretivas de hidrômetros, com base em critérios de vida útil e desempenho metrológico.

RESULTADOS OBTIDOS

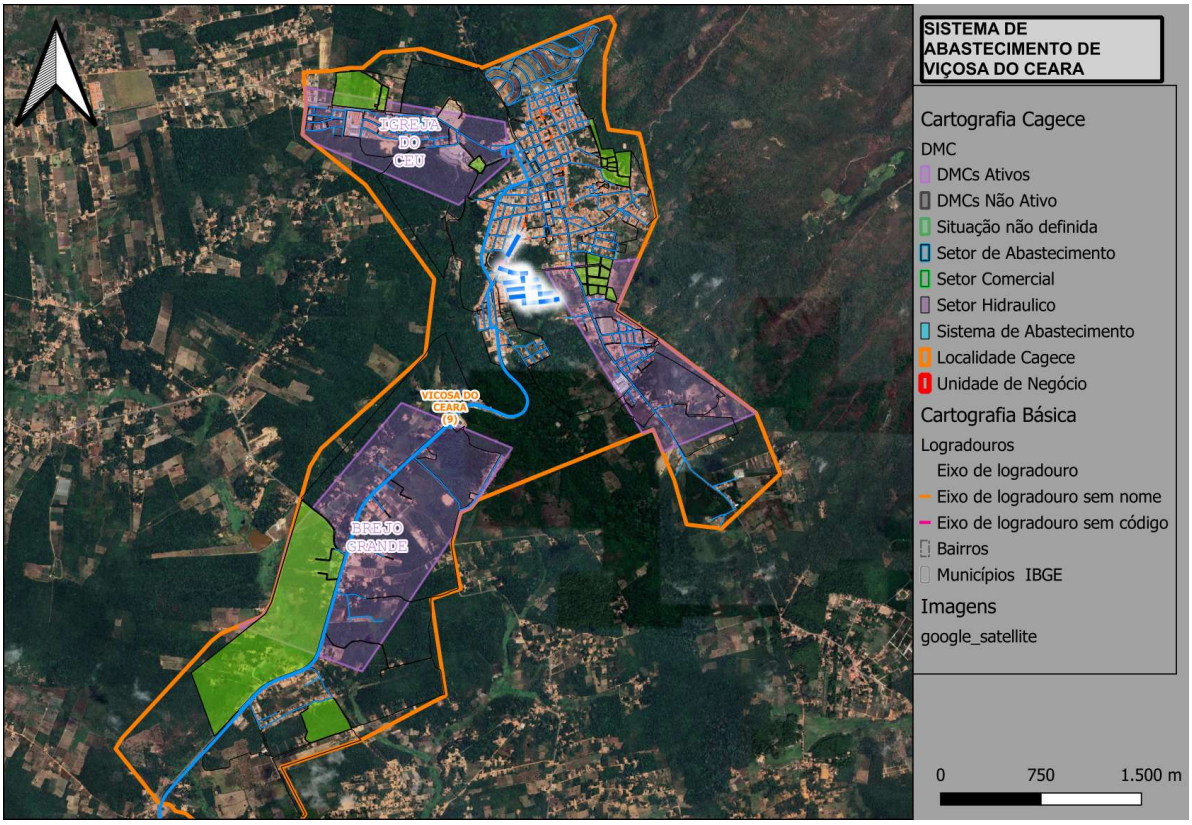
Os resultados são apresentados por dimensão de análise, abrangendo a caracterização do sistema setorizado em DMCs, o desempenho da micromedição, o monitoramento de pressão, a evolução dos vazamentos e os indicadores de perdas totais.

Caracterização e delimitação dos DMCs e Distribuição de Ligações por Setor

O sistema de abastecimento de Viçosa do Ceará foi setorizado em três Distritos de Medição e Controle. A Figura 2 apresenta a distribuição de ligações ativas e ligações cortadas para cada setor.

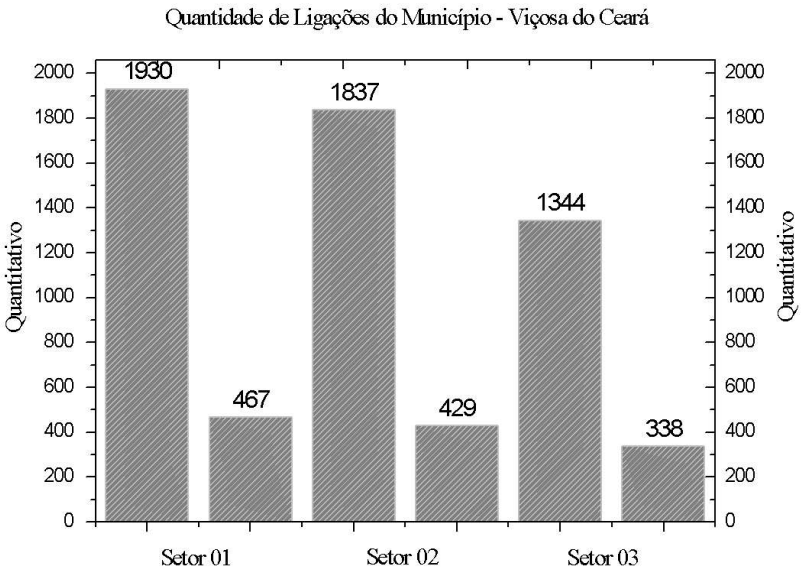
Viçosa do Ceará, Cidade sede de município homônimo no estado do Ceará, localiza-se na Latitude (S) 03°35’43” e Longitude (W) 41°05’31’’, possui uma área de 1.311,592km² e situa-se a uma altitude de 740,00m. A cidade de Viçosa do Ceará é limitada ao Norte por Granja, ao Sul por Tianguá, ao Leste por Granja e Tianguá, e ao Oeste pelo Estado do Piauí.

Figura 1 – Delimitação proposta para a implementação dos Distritos de Medição e Controle.



Fonte: Elaborado pelos Autores (2026)

Figura 2 – Quantidade de ligações por setor (DMC) – Município de Viçosa do Ceará



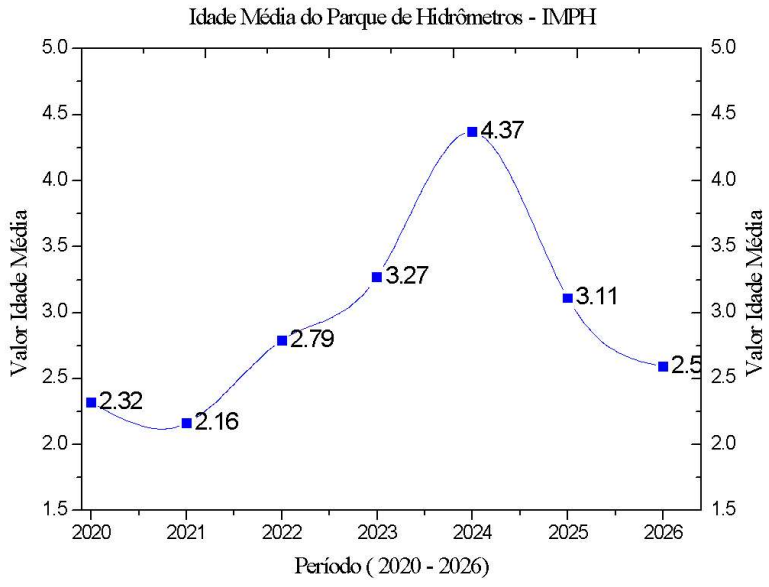
Fonte: Dados operacionais da concessionária (2026).

O Setor 01, de maior porte, concentra 1.930 ligações ativas e 467 cortadas (24,2%); o Setor 02 contém 1.837 ligações ativas com 429 cortadas (23,4%); e o Setor 03 reúne 1.344 ligações com 338 cortadas (25,1%). A proporção de ligações cortadas — em torno de 24% em todos os setores (MUTIKANGA et al., 2013; SANTOS et al., 2023).

Evolução da Idade Média do Parque de Hidrômetros (IMPH)

A Figura 3 apresenta a trajetória do IMPH entre 2020 e 2026, indicador diretamente relacionado ao desempenho metrológico do parque de medição e à magnitude das perdas aparentes.

Figura 3 – Idade Média do Parque de Hidrômetros (IMPH) – Período 2020-2026



Fonte: Dados operacionais da concessionária (2026).

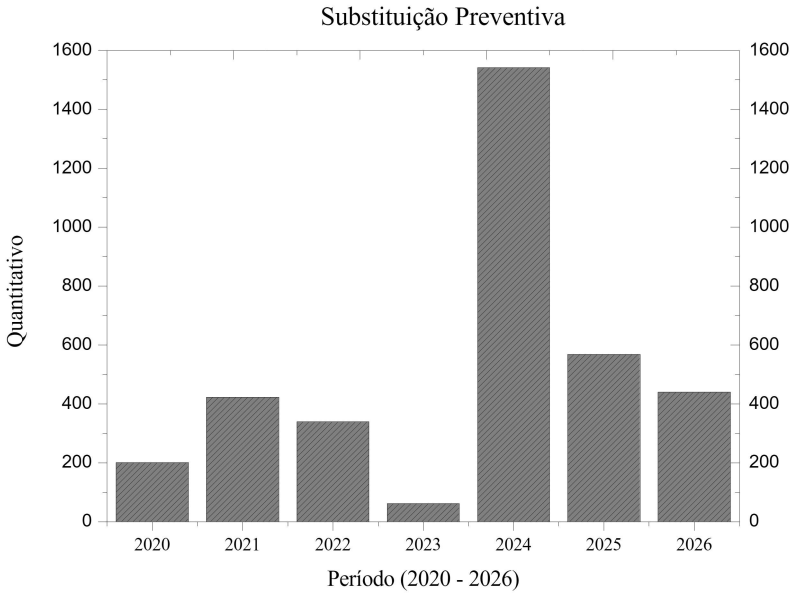
O IMPH cresceu de 2,32 anos em 2020 para o pico de 4,37 anos em 2024, reflexo da redução drástica nas substituições preventivas ocorrida em 2023 (apenas 70 unidades). A retomada do programa em 2024, com 1.534 substituições, e sua continuidade nos anos seguintes promoveram a queda progressiva para 3,11 anos (2025) e 2,50 anos (2026). Hidrômetros com IMPH superior a quatro anos apresentam submedição crescente e consequente subestimação do consumo faturado, fenômeno amplamente documentado por Arregui et al. (2021), que quantificaram erros de medição de até 8% do volume micromedido em parques com essa característica.

Substituição Preventiva de Hidrômetros

A Figura 4 exibe o volume anual de substituições preventivas de hidrômetros realizadas entre 2020 e 2026, ação central na redução das perdas aparentes.

O programa de substituição preventiva registrou as seguintes quantidades: 204 unidades em 2020, 409 em 2021, 335 em 2022, queda abrupta para 70 em 2023 e salto para 1.534 em 2024 — o maior volume do período analisado. Em 2025 e 2026 os números se estabilizaram em 601 e 425 unidades, respectivamente. A interrupção em 2023 coincide com a elevação do IMPH para 3,27 anos e com a estagnação dos índices de perdas, confirmando a correlação entre a renovação do parque e o controle das perdas aparentes. A campanha intensiva de 2024 foi determinante para inverter essa tendência e representa o principal vetor de redução das perdas aparentes no período (CRIMINISI et al., 2022).

Figura 4 – Substituição preventiva de hidrômetros – Período 2020-2026



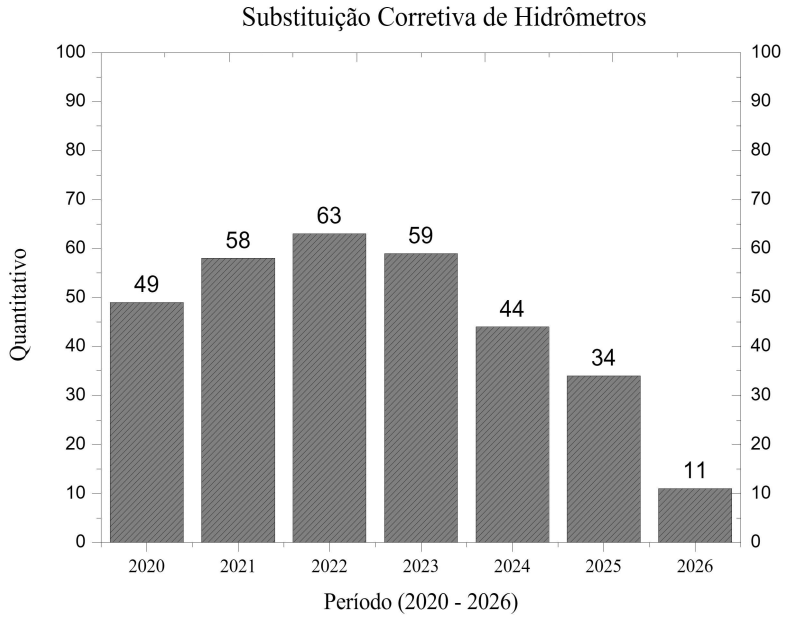
Fonte: Dados operacionais da concessionária (2026).

Substituição Corretiva de Hidrômetros

A Figura 5 apresenta o quantitativo de substituições corretivas — motivadas por falha ou defeito dos equipamentos — no mesmo período.

As substituições corretivas apresentaram trajetória consistentemente declinante: de 49 em 2020 para apenas 11 no primeiro semestre de 2026, çevando em consideração até a competência de maio/2026 — redução de 77,6%. Esse comportamento, inverso ao das substituições preventivas, é indicativo de que a renovação sistemática do parque tem prevenido falhas prematuras e melhorado a confiabilidade dos equipamentos instalados. A literatura aponta que programas preventivos bem estruturados reduzem em até 60% a demanda por substituições corretivas em horizontes de quatro a cinco anos (ARREGUI et al., 2021; KINGDOM et al., 2021).

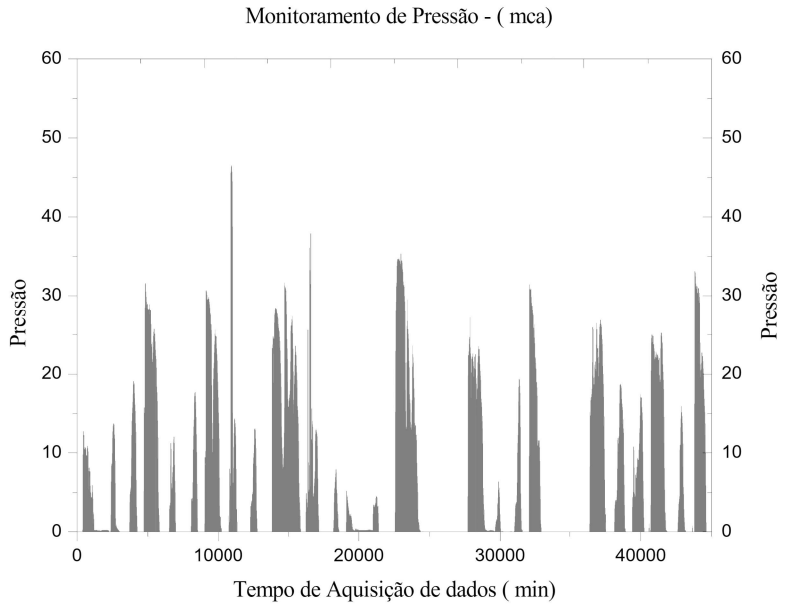
Figura 5 – Substituição corretiva de hidrômetros – Período 2020-2026



Monitoramento de Pressão

A Figura 6 exibe o perfil temporal de pressão registrado no ponto de monitoramento do Setor 01, com dados adquiridos em intervalos de um minuto ao longo de aproximadamente 28 dias (±40.000 min).

Figura 6 – Monitoramento de pressão (mca) - antes



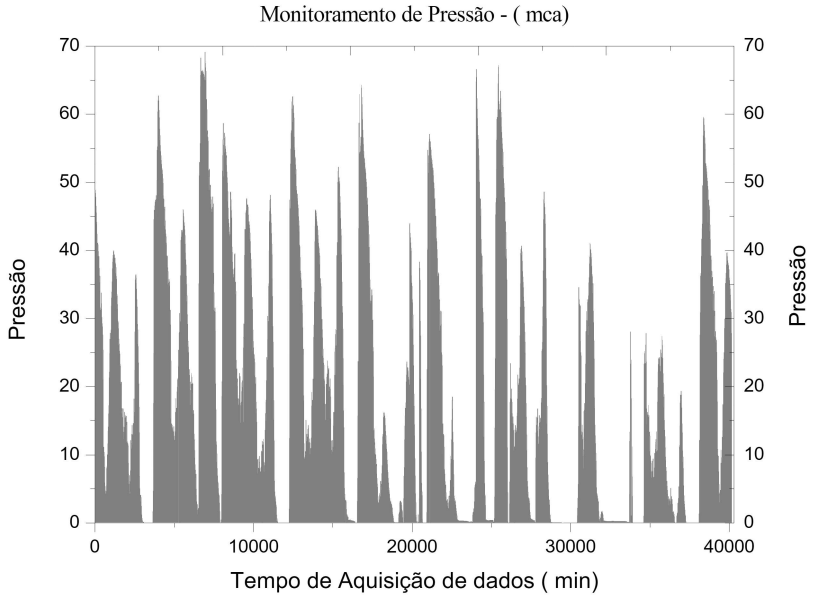
Fonte: Dados operacionais da concessionária (2026).

O perfil de pressão do Setor 01 evidencia padrão intermitente característico de sistemas de abastecimento do semiárido cearense, com ciclos de enchimento e esvaziamento dos reservatórios. As pressões máximas registradas situam-se em torno de 45 mca, com frequentes intervalos de pressão nula, indicando períodos sem fornecimento. A intermitência pressuriza a rede de forma cíclica e agrava as perdas reais, pois transientes de

pressão — gerados pelos choques hidráulicos no momento de enchimento — provocam rupturas nas conexões mais antigas. Lambert e Thornton (2011) demonstraram que a taxa de vazamentos é proporcional à pressão de serviço elevada a um expoente entre 0,5 e 1,5, dependendo das características do material da tubulação.

Monitoramento de Pressão – Setor 01

Figura 7 – Monitoramento de pressão (mca) – após as ações

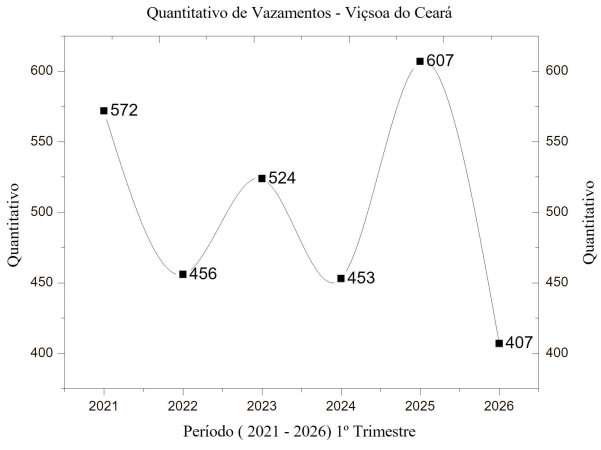


O Setor apresenta pressões máximas superiores a 65 mca, valor consideravelmente mais elevado do que anteriormente as ações realizada , sugere que intervenções de controle de pressão — como a instalação de válvulas redutoras de pressão (VRP) — teriam impacto mais pronunciado neste setor. Criminisi et al. (2022) demonstraram que a implementação de VRPs em setores com pressões máximas acima de 50 mca pode reduzir as perdas reais em 30 a 50%, com retorno do investimento em prazos inferiores a dois anos.

Evolução do Quantitativo de Vazamentos

A Figura 8 apresenta a série histórica de ocorrências de vazamentos registradas no município entre 2021 e o primeiro trimestre de 2026.

Figura 8 – Quantitativo de vazamentos registrados – Viçosa do Ceará (2021–2026, 1º trimestre)



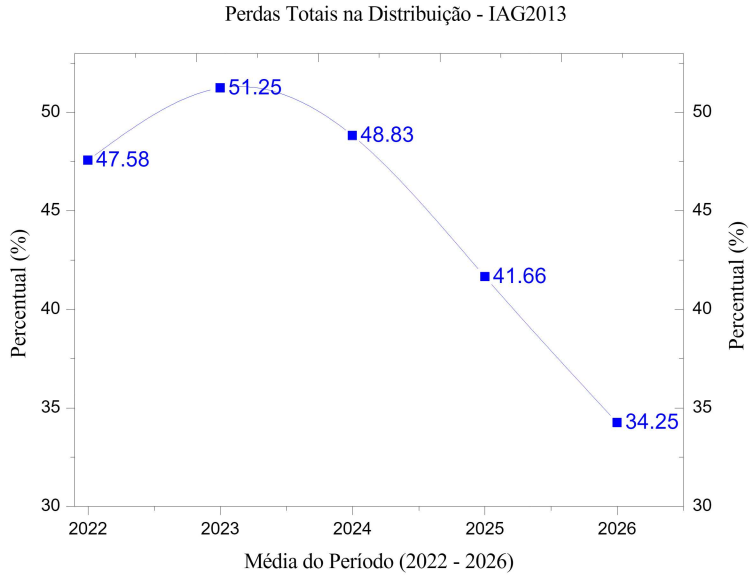
Fonte: Dados operacionais da concessionária (2026).

O quantitativo de vazamentos oscilou ao longo do período: 572 ocorrências em 2021, redução para 456 em 2022, elevação para 524 em 2023, queda para 453 em 2024, novo pico de 607 em 2025 e redução para 407 no primeiro trimestre de 2026. A elevação observada em 2025 não deve ser interpretada como piora do sistema, mas como consequência direta da ampliação da capacidade diagnóstica proporcionada pelos DMCs implantados: a setorização torna visíveis perdas que antes passavam despercebidas. Esse fenômeno é documentado por Mutikanga et al. (2013) e Santos et al. (2023), que descrevem o aumento temporário nos registros de vazamentos como indicador de maturidade operacional do programa de controle de perdas. A queda para 407 no primeiro trimestre de 2026 sinaliza o início do ciclo corretivo desencadeado pela identificação sistemática das perdas.

Índice de Perdas Totais na Distribuição – IAG2013

A Figura 9 apresenta a evolução do indicador de perdas totais na distribuição (IAG2013, em %) no período 2022–2026, principal métrica de eficiência operacional do sistema. O IAG2013 registrou 47,58% em 2022, elevando-se para o pico de 51,25% em 2023 — período coincidente com a redução drástica nas substituições preventivas de hidrômetros e com o envelhecimento do parque. A partir de 2024, com a retomada das substituições e a operacionalização dos DMCs, o índice inverteu sua trajetória: 48,83% em 2024, 41,66% em 2025 e 34,25% em 2026. A queda acumulada de 16,99 pontos percentuais entre 2023 e 2026 coloca o município abaixo da média nacional de 39,5% (SINISA, 2025) e bem abaixo da média da região Nordeste. Esse desempenho é comparável aos reportados por Alkasseh et al. (2013), que documentaram redução de 38% nas perdas após setorização em sistema jordaniano de porte similar, e por Kingdom et al. (2021), que registraram reduções superiores a 40% em programas estruturados de gestão de perdas em países em desenvolvimento.

Figura 9 – Perdas Totais na Distribuição (IAG2013) – Média do período 2022-2026



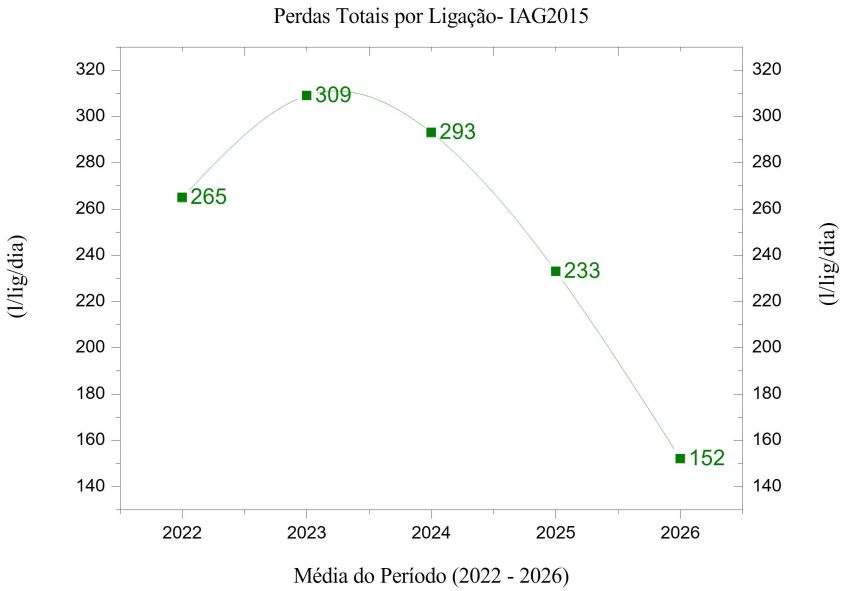
Fonte: Dados operacionais da concessionária (2026).

Índice de Perdas por Ligação – IAG2015

A Figura 10 exibe a evolução do indicador de perdas por ligação (IAG2015, em l/ligação/dia) no mesmo período, indicador que complementa o IAG2013 ao relativizar as perdas em função do número de ligações do sistema. O I AG2015 seguiu trajetória análoga ao IAG2013: 265 l/lig/dia em 2022, pico de 309 em 2023, redução progressiva para 293 em 2024, 233 em 2025 e 152 l/lig/dia em 2026 — redução de 50,8% em relação ao pico. A queda no volume de perdas por ligação reflete tanto a redução das perdas reais, evidenciada pela diminuição dos vazamentos, quanto a melhoria da micromedição, que reduziu as perdas aparentes. Santos et al. (2023), em

análise de sistemas semelhantes do semiárido nordestino, identificaram valores de IAG2015 entre 180 e 250 l/lig/dia após intervenções similares, situando o resultado de Viçosa do Ceará como um dos mais expressivos do contexto regional.

Figura 10 – Perdas Totais por Ligação (IAG2015, l/lig/dia) – Média do período 2022-2026



Fonte: Dados operacionais da concessionária (2026)

ANÁLISES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise integrada dos resultados obtidos permite identificar três vetores principais que explicam a trajetória de redução de perdas observada no sistema de Viçosa do Ceará: (i) a setorização da rede com implantação dos DMCs, (ii) o programa de substituição preventiva de hidrômetros e (iii) o monitoramento sistemático de pressões.

A setorização em três DMCs viabilizou o diagnóstico individualizado das perdas por setor, superando a limitação de sistemas gerenciados de forma agregada, nos quais a heterogeneidade interna mascara pontos críticos. Essa abordagem é alinhada com as recomendações da IWA (International Water Association) e com os resultados reportados por Mutikanga et al. (2013) para sistemas africanos de médio porte, nos quais a adoção de setorização combinada com controle de pressão promoveu reduções de até 45% nas perdas. A comparação entre os perfis de pressão dos Setores 01 e 02 (Figuras 5 e 6) demonstra que as condições operacionais diferem significativamente entre setores, reforçando a pertinência do diagnóstico setorizado.

O salto na substituição preventiva em 2024 — 1.534 unidades, representando cerca de 31% do parque total estimado — é o fator isolado de maior impacto na redução das perdas aparentes. A correlação é direta: o pico do IMPH em 4,37 anos (2024) coincide com o IAG2013 ainda elevado naquele ano (48,83%), ao passo que a queda do IMPH para 2,50 anos em 2026 acompanha a redução do IAG2013 para 34,25%. Arregui et al. (2021) quantificaram erros metrológicos de 6 a 10% em parques com IMPH superior a quatro anos, o que, aplicado ao contexto de Viçosa do Ceará, representa um volume considerável de água consumida e não faturada.

O monitoramento de pressão revelou picos superiores a 65 mca no Setor 02, condição que favorece a ocorrência de vazamentos e acelera a deterioração das tubulações. Embora não tenha sido implementado controle ativo de pressão no período analisado, os dados coletados pelos DMCs fornecem embasamento técnico inequívoco para a instalação futura de VRPs, ação que a literatura aponta como de maior custo-efetividade para a redução de perdas reais em sistemas com pressões excessivas (LAMBERT; THORNTON, 2011; KINGDOM et al., 2021).

A elevação no número de vazamentos em 2025 (607 ocorrências) deve ser reinterpretada à luz do incremento na capacidade diagnóstica dos DMCs: não se trata de piora sistêmica, mas de maior sensibilidade de detecção. Criminisi et al. (2022) descreveram fenômeno análogo em sistemas sicilianos, onde o aumento temporário nos registros de vazamentos precedeu sua redução estrutural. A queda para 407 no primeiro trimestre de 2026 confirma que o ciclo de detecção-correção-monitoramento está em operação.

A presença de 1.234 ligações sem hidrômetro nos três setores — aproximadamente 24% do total — representa um passivo de perdas aparentes que limita o potencial de melhoria dos indicadores. A regularização dessas ligações, com instalação de hidrômetros e atualização cadastral, é a intervenção de maior retorno esperado na fase subsequente do programa, conforme apontam Alkasseh et al. (2013) e Santos et al. (2023) para contextos similares.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no sistema de abastecimento de Viçosa do Ceará demonstram que a implementação de Distritos de Medição e Controle, associada a ações sistemáticas de micromedição e monitoramento de pressão, configura estratégia eficaz para a redução de perdas reais e aparentes em sistemas de médio porte. A redução do IAG2013 de 51,25% (2023) para 34,25% (2026) e do IAG2015 de 309 l/lig/dia para 152 l/lig/dia evidenciam impactos técnicos expressivos, com resultados comparáveis aos reportados pela literatura internacional e nacional para intervenções similares.

As principais contribuições residem na demonstração da viabilidade técnica e operacional de programas integrados de gestão de perdas em municípios de médio porte do semiárido nordestino — contexto historicamente marcado por limitações hídricas, operacionais e financeiras. A setorização possibilitou diagnóstico diferenciado por DMC, a renovação do parque de hidrômetros reduziu as perdas aparentes e o monitoramento de pressão gerou subsídios para intervenções futuras de maior impacto.

Recomenda-se para trabalhos futuros: (i) avaliação da implantação de válvulas redutoras de pressão nos pontos críticos identificados no Setor 02, com análise custo-benefício; (ii) desenvolvimento de modelos preditivos de detecção de vazamentos baseados nos dados de pressão e vazão dos DMCs, com uso de técnicas de aprendizado de máquina; (iii) análise comparativa entre sistemas intermitentes e contínuos do estado do Ceará; (iv) quantificação individualizada das perdas aparentes por setor, com foco na regularização das 1.234 ligações sem hidrômetro identificadas; e (v) avaliação econômico-financeira dos benefícios gerados pela redução de perdas em termos de receitas recuperadas e postergação de investimentos em captação e tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Norma de Referência n.º 15/2025: diretrizes para a gestão de redução progressiva e controle de perdas nos subsistemas de distribuição de água potável. Brasília: ANA, 2025.
2. ALKASSEH, J. M. A. et al. Applying minimum night flow to estimate water loss using statistical modeling: a case study in Kinta Valley, Malaysia. Water Resources Management, v. 27, n. 5, p. 1439–1455, 2013.
3. ARREGUI, F. J. et al. Key factors affecting water meter accuracy and their influence on apparent losses. Water Supply, v. 21, n. 4, p. 1664–1679, 2021.
4. BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Guia de orientação para adequação e implementação de programas de controle de perdas de água em prestadores de serviços de saneamento. Brasília: Ministério das Cidades, 2014.
5. CRIMINISI, A. et al. Effect of pressure management strategies on the water loss reduction in a district metered area of a real network. Urban Water Journal, v. 19, n. 1, p. 45–58, 2022.
6. FARLEY, M. et al. The Manager's Non-Revenue Water Handbook: A Guide to Understanding Water Losses. Bangkok: Ranhill Utilities / USAID, 2008.

7. KINGDOM, B. et al. The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries: how the private sector can help, a look at performance-based service contracting. Water Papers, World Bank, 2021.

8. LAMBERT, A.; THORNTON, J. Progress in practical prediction of pressure: leakage, pressure: burst frequency and pressure: consumption relationships. Proceedings of the IWA Special Conference Leakage, 2011.

9. MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Methods and tools for managing losses in water distribution systems. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 139, n. 2, p. 166–174, 2013.

10. SANTOS, A. R. et al. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água no semiárido nordestino: análise de indicadores e estratégias de controle. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 28, n. 3, p. 215–228, 2023.

11. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO BÁSICO – SINISA. Diagnóstico Temático de Serviços de Água e Esgoto: ano de referência 2024. Brasília: MDR, 2025.

12. TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP, 2006.

13. YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.