SUBSTITUIÇÃO PREVENTIVA DE HIDRÔMETROS ORIENTADA POR INDICADORES DE PRIORIZAÇÃO

Daniel Soriano Gonçalves[(1)]
Engenheiro Civil, pós-graduado em Engenharia de Estruturas e em Engenharia Ambiental e Saneamento Básico. Atua como Coordenador Técnico na Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (SANESUL) com experiência em sistemas de abastecimento e distribuição de água, bem como gestão de contratos e obras. É mestrando em Eficiência Energética e Sustentabilidade pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), com pesquisa voltada à infraestrutura hídrica urbana.
Célio Poveda Filho[(2)]
Engenheiro Eletricista.
Natália Pereira[(3)]
Engenheira Agrônoma, Pós-doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE).
Jean dos Santos Flor[(4)]
Economista.
Alan Artigas Barbosa[(5)]
Engenheiro Mecânico.

Endereço[(1)]**:** Rua Alegrete, 263 – Bairro Vila Renô – Ponta Porã - MS - CEP: 79902-272 - Brasil - Tel: +55 (75) 99250-3284 - e-mail: dsg.engenharias@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho apresenta a metodologia e os resultados obtidos com a substituição preventiva de hidrômetros nos Distritos de Medição e Controle (DMCs) da Gerência Regional de Ponta Porã (GERPP), da Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul S.A. – SANESUL. A estratégia adota o Índice de Desempenho Metrológico (IDM) por faixa etária dos medidores e o Índice de Esforço para Recuperação de Volume (IERV) como ferramentas de priorização técnica. Foram realizadas duas etapas de substituição: a primeira abrangeu quatro DMCs com troca de hidrômetros velocimétricos antigos por novos velocimétricos (377 unidades), resultando em acréscimo de 1.908 m³/mês (+11,05%); a segunda contemplou três DMCs com substituição de velocimétricos por volumétricos (525 unidades), com ganho de 1.572 m³/mês (+2,78%). O diagnóstico do parque identificou 8.898 hidrômetros com idade igual ou superior a seis anos, representando 31,70% das 28.069 ligações ativas. A análise de viabilidade econômica indicou payback descontado de até 2,59 meses para o cenário mais crítico, com VPL positivo em todos os cenários avaliados. Os resultados validam o IERV como ferramenta eficaz de apoio à tomada de decisão no controle de perdas aparentes.

PALAVRAS-CHAVE: Submedição, Perdas Aparentes, Micromedição.

INTRODUÇÃO

As perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento constituem um dos principais desafios operacionais e financeiros do setor de saneamento brasileiro. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINISA (2023), o índice médio de perdas na distribuição no Brasil atingiu 40,3%, evidenciando a necessidade de ações estruturadas de controle, tanto no campo das perdas reais quanto das perdas aparentes (Instituto Trata Brasil, 2023).

As perdas aparentes compreendem os volumes consumidos que não são contabilizados para fins de faturamento, em razão de fraudes, ligações clandestinas, erros cadastrais e, sobretudo, falhas na micromedição decorrentes da submedição pelos hidrômetros. No balanço hídrico padronizado pela International Water Association (IWA), as inacurácias dos medidores dos consumidores constituem um dos componentes centrais das perdas aparentes, ao lado do consumo não autorizado (Lambert e Hirner, 2000; Thornton et al., 2008). Essa classificação confere à submedição relevância técnica e econômica sistêmica nas companhias de saneamento.

A submedição é um fenômeno progressivo: à medida que o hidrômetro envelhece, ocorre desgaste mecânico interno, redução da sensibilidade em baixas vazões e degradação metrológica contínua, comprometendo a acurácia das leituras (Gularte, 2005; Tsutiya, 2006). Criminisi et al. (2009) demonstraram experimentalmente que o perfil de consumo em instalações com reservatório domiciliar amplifica os erros de submedição. Cobacho et al. (2008) corroboram essa análise ao avaliar as ineficiências das caixas d'água sobre o balanço hídrico do sistema. No contexto brasileiro, esse efeito é acentuado pelo uso generalizado de caixas d'água, que submete os medidores a regimes de vazão inferiores à faixa de maior precisão metrológica (Gularte, 2005).

O desgaste mecânico e a degradação metrológica são fenômenos intrinsecamente ligados ao tempo de operação dos medidores, sendo que hidrômetros com maior tempo de uso tendem a registrar volumes inferiores aos efetivamente consumidos, especialmente em baixas vazões (Fontanazza et al., 2012; Criminisi et al., 2009).

No campo normativo, a ABNT NBR 15538:2023 estabelece os critérios e procedimentos para avaliação da eficiência de medidores de água potável fria, quantificando o desempenho metrológico por meio do Índice de Desempenho Metrológico (IDM). A atualização da norma em 2023, que revisou os pesos das faixas de vazão no cálculo do IDM, reforçou a atenção técnica às baixas vazões, segmento em que os hidrômetros velocimétricos convencionais apresentam maior susceptibilidade a erros negativos de medição (ABNT, 2023).

Nesse contexto, a substituição preventiva do parque de hidrômetros apresenta-se como uma estratégia de gestão de perdas aparentes com elevado potencial de retorno técnico e econômico. Liemberger e Farley (2004) destacam que a redução das perdas não faturadas exige diagnóstico detalhado dos componentes de perda antes de qualquer intervenção, sendo a avaliação do parque de micromedição etapa essencial desse processo. Tardelli Filho (2016) reforça que a substituição preventiva, quando orientada por critérios técnicos, produz retornos mais previsíveis do que ações reativas ou genéricas. Para que essa eficiência seja alcançada, é fundamental que as intervenções sejam priorizadas com base em indicadores objetivos que relacionem o esforço de substituição ao volume potencialmente recuperável (Thornton et al., 2008).

Este artigo apresenta a metodologia e os resultados obtidos no programa de substituição preventiva de hidrômetros implementado pela Gerência Regional de Ponta Porã (GERPP) da Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul S.A. – SANESUL, contemplando o desenvolvimento do Índice de Esforço para Recuperação de Volume (IERV) como ferramenta inédita de priorização, e a avaliação dos resultados obtidos em sete Distritos de Medição e Controle (DMCs).

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar a metodologia de priorização de substituição preventiva de hidrômetros baseada no Índice de Desempenho Metrológico (IDM) e no Índice de Esforço para Recuperação de Volume (IERV), bem como avaliar os resultados obtidos nas intervenções realizadas nos DMCs da GERPP, verificando a aderência entre as estimativas preliminares e os volumes efetivamente recuperados, e demonstrando a viabilidade econômica das ações.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

I. Propor e validar o Índice de Esforço para Recuperação de Volume (IERV) como ferramenta de priorização técnica para substituição preventiva de hidrômetros em DMCs;

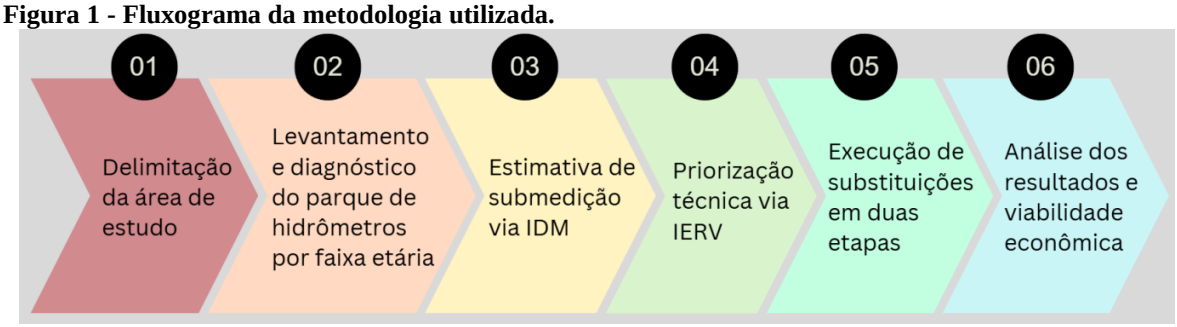
II. Quantificar o acréscimo de volume micromedido obtido após substituição de hidrômetros velocimétricos antigos por novos velocimétricos e por medidores volumétricos, comparando os resultados com as estimativas preliminares baseadas no IDM;

III. Avaliar a viabilidade econômica da substituição preventiva por meio da análise de payback descontado e VPL, considerando diferentes cenários de priorização etária e tecnológica.

METODOLOGIA UTILIZADA

A metodologia foi estruturada em seis etapas sequenciais e complementares, conforme a seguinte ordem: (1) delimitação da área de estudo; (2) levantamento e diagnóstico do parque de hidrômetros por faixa etária; (3) estimativa de submedição via IDM; (4) priorização técnica dos DMCs mediante o IERV; (5) execução das substituições em duas etapas distintas; e (6) avaliação dos resultados e análise de viabilidade econômica. Cada etapa é descrita nos subitens a seguir.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada.



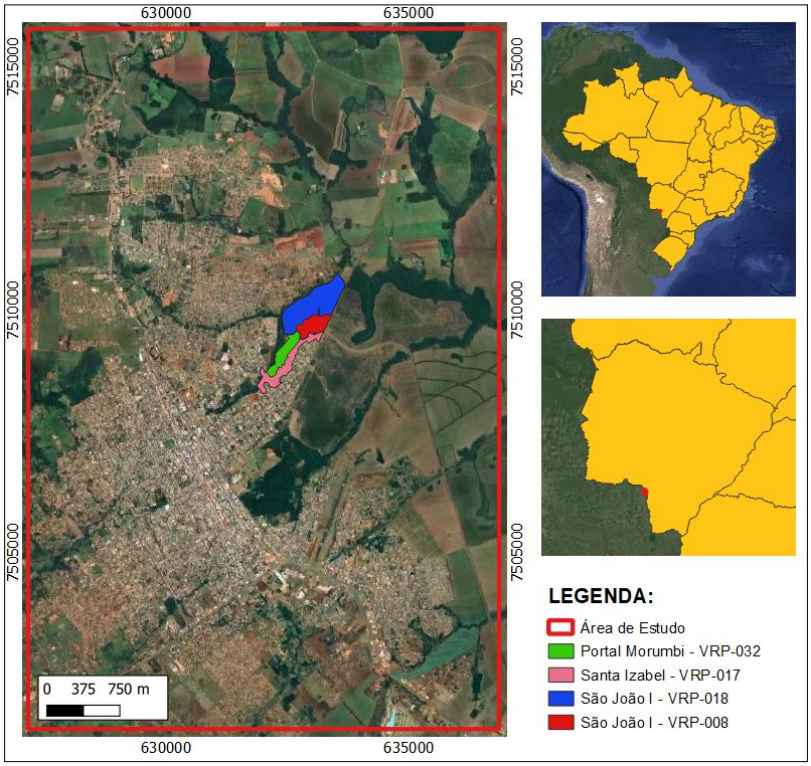
Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

(1) DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado nos Distritos de Medição e Controle (DMCs) da Gerência Regional de Ponta Porã (GERPP) da SANESUL, município de Ponta Porã/MS, totalizando 28.069 ligações ativas. A seleção dos DMCs ocorreu em duas etapas com objetivos distintos:

Etapa 1 — Substituição velocimétrico × velocimétrico: foram considerados quatro DMCs com elevada concentração de hidrômetros velocimétricos envelhecidos: São João I (VRP-008), São João II (VRP-018), Portal Morumbi (VRP-032) e Santa Izabel II (VRP-017). A seleção foi orientada pelo IERV e pela estratégia de abranger o maior número possível de setores com o lote inicial disponível de aproximadamente 500 unidades.

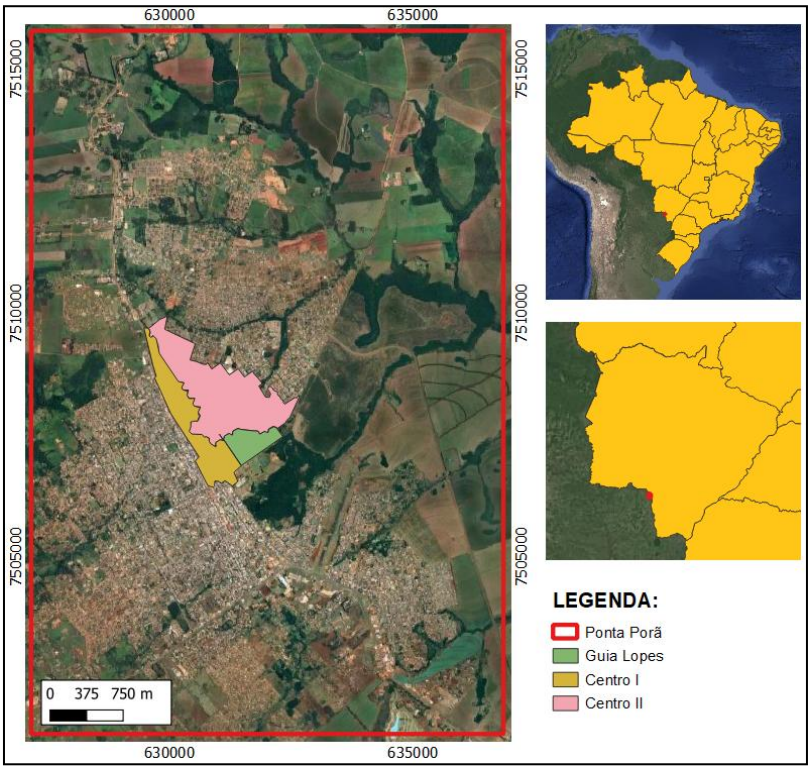
Figura 2 - Localização dos DMCs selecionados para substituição de hidrômetros velocimétricos antigos por novos velocimétricos - Ponta Porã/MS.



Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

Etapa 2 — Substituição velocimétrico × volumétrico: foram considerados três DMCs da região central de Ponta Porã: Centro I, Centro II e Guia Lopes. A escolha desses setores fundamentou-se no perfil predominantemente comercial da área, onde a concentração de estabelecimentos com maior consumo médio amplifica o impacto financeiro de eventuais imprecisões metrológicas.

Figura 3 - Localização dos DMCs selecionados para substituição de hidrômetros velocimétricos antigos por novos volumétricos - Ponta Porã/MS.



Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

(2) DIAGNÓSTICO DO PARQUE DE HIDRÔMETROS

O diagnóstico consistiu no levantamento da idade de todos os hidrômetros instalados nas ligações ativas dos DMCs avaliados, com base nos registros cadastrais do sistema comercial da SANESUL. Os medidores foram agrupados por faixa etária, permitindo identificar a distribuição do parque e quantificar os equipamentos em faixa de maior risco de degradação metrológica.

O limiar etário de seis anos foi adotado como fronteira de maior atenção técnica, pois a partir dessa faixa o IDM médio dos velocimétricos situa-se abaixo de 85%, indicando submedição potencial superior a 15% do volume consumido.

(3) ESTIMATIVA DE SUBMEDIÇÃO PELO ÍNDICE DE DESEMPENHO METROLÓGICO (IDM)

A quantificação do volume submedido estimado foi realizada com base no Índice de Desempenho Metrológico (IDM), previsto na ABNT NBR 15538:2023. O IDM é um indicador percentual que expressa a eficiência de medição do hidrômetro, calculado a partir dos erros ponderados do medidor em diferentes faixas de vazão, com pesos definidos em função do perfil de consumo dos usuários. A relação entre IDM e volume submedido estimado é dada pela Equação 1:

$$\boldsymbol{V_{sub} = V_{micro} \cdot \left(\frac{1}{IDM} - 1\right)} \qquad \text{equação (1)}$$

Em que V_{sub} é o volume submedido estimado (m³/mês), V_{micro} é o volume micromedido no período (m³/mês) e IDM é o índice de desempenho metrológico aplicado à faixa etária correspondente.

Os valores de IDM adotados por faixa etária são apresentados na Tabela 1. Para os hidrômetros com idade zero, representando medidores novos recém-instalados, adotou-se IDM de 95%, valor conservador que reconhece a submedição residual inerente a qualquer medidor, mesmo em condições iniciais de operação.

Tabela 1 - Índice de Desempenho Metrológico (IDM) por faixa etária dos hidrômetros.

Idade (anos)	0	1-2	3-5	6-8	9-10	≥ 11
IDM (%)	95,0	92,0–93,5	86,8–90,3	80,0–85,0	74,0–77,0	71,0

Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2025) com base em Gularte (2005) e ABNT NBR 15538:2023.

Para os hidrômetros volumétricos, na ausência de curva específica de degradação metrológica em campo, adotou-se de forma conservadora a extrapolação dos valores de IDM dos velocimétricos. Essa premissa, embora aproximada, permite comparar os cenários de investimento e estimar o retorno econômico da substituição por essa tecnologia.

(4) ÍNDICE DE ESFORÇO PARA RECUPERAÇÃO DE VOLUME (IERV)

Para viabilizar a priorização objetiva dos DMCs, foi proposto o Índice de Esforço para Recuperação de Volume (IERV), indicador inédito desenvolvido neste estudo. O IERV é calculado pela relação entre a quantidade de hidrômetros com idade igual ou superior a seis anos (HD ≥ 6 anos) e o volume submedido estimado mensalmente para esse grupo de medidores, conforme a Equação 2:

$$\boldsymbol{IERV} = \frac{\boldsymbol{HD}}{\boldsymbol{V}} \qquad \text{equação (2)}$$

Em que V é o volume submedido estimado e HD a quantidade de medidores dentro da faixa etária analisada.

O IERV expressa o número de hidrômetros que precisam ser substituídos para recuperar 1 m³/mês de volume submedido. Quanto menor o IERV, maior a eficiência técnica da intervenção, pois significa que um menor esforço de substituição produz maior recuperação de volume, conforme Equação 3.

$$\boldsymbol{IERV} = \lim_{\boldsymbol{V}\to\infty} \frac{\boldsymbol{HD}}{\boldsymbol{V}} \qquad \text{equação (3)}$$

Em termos práticos, o índice evita que a priorização seja feita exclusivamente com base na quantidade absoluta de medidores antigos, direcionando os investimentos para onde o retorno por unidade substituída é mais expressivo.

A priorização final combinou dois critérios complementares: o IERV, que mensura a eficiência relativa da substituição, e o volume submedido absoluto, que mensura o impacto operacional e financeiro esperado. DMCs com IERV baixo e elevado volume submedido absoluto foram classificados como prioritários.

(5) EXECUÇÃO DAS SUBSTITUIÇÕES

Etapa 1 — Substituição Velocimétrico × Velocimétrico (Ago–Dez/2025): Com base no diagnóstico do parque e nos resultados do IERV, foram selecionados quatro DMCs para a primeira etapa de substituição: São João I (VRP-008), São João II (VRP-018), Portal Morumbi (VRP-032) e Santa Izabel II (VRP-017). Os 377 hidrômetros velocimétricos com idade igual ou superior a seis anos foram substituídos por novos medidores velocimétricos multijato classe C, atendendo às especificações da ABNT NBR NM 212 e à Portaria INMETRO n.º 246/2000. As substituições foram executadas entre agosto e dezembro de 2025, com avaliação comparativa dos volumes micromedidos entre os períodos anterior e posterior à intervenção.

Etapa 2 — Substituição Velocimétrico × Volumétrico (Jan–Mar/2026): Na segunda etapa, 525 hidrômetros velocimétricos foram substituídos por medidores volumétricos nos DMCs Centro I, Centro II e Guia Lopes. A escolha pelo medidor volumétrico nesses setores justificou-se pelo perfil de consumo predominantemente comercial, com maior participação de consumidores com consumo médio elevado. Os hidrômetros volumétricos apresentam maior sensibilidade em baixas vazões e curva de erro mais estável ao longo do

tempo, sendo especialmente adequados para perfis de consumo com maior variabilidade de vazão. A avaliação comparativa foi realizada entre os volumes micromedidos de janeiro e março de 2026.

(6) AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS E VIABILIDADE ECONÔMICA

Os resultados das substituições foram avaliados por meio de três indicadores quantitativos, apurados individualmente por DMC e de forma consolidada por grupo de intervenção:

(i) Acréscimo absoluto de volume micromedido (m³/mês): diferença entre o volume micromedido no período posterior e no período anterior à substituição, representando a recuperação bruta de volume registrado;

(ii) Variação percentual (%): razão entre o acréscimo absoluto e o volume micromedido no período anterior, expressa em percentual, permitindo comparar setores de diferentes tamanhos;

(iii) Ganho médio por hidrômetro substituído (m³/med/mês): quociente entre o acréscimo absoluto de volume e a quantidade de medidores trocados, indicador de eficiência unitária da intervenção.

Para a análise de viabilidade econômica, foram calculados o payback descontado e o Valor Presente Líquido (VPL) para quatro cenários: panorama geral de Ponta Porã (todos HD ≥ 6 anos), panorama parcial (HD entre 9 e 15 anos) e os DMCs Centro I e II com velocimétricos e volumétricos. Em todos os cenários, adotou-se Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 15% ao ano, tarifa de referência de R$ 10,05/m³ (residencial – normal), fator de recuperação de 95% (reconhecendo submedição residual dos medidores novos) e horizonte de avaliação de 2026 a 2031 (intervalo de 6 anos).

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados das substituições realizadas nos dois grupos de DMCs avaliados são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Síntese dos resultados de volume micromedido por grupo de intervenção.

Período	Tipo de Substituição	DMCs Avaliados	Medidores Substituídos	Subst. / Ligações (%)	Acréscimo (m³)	Variação (%)
Ago/2025 × Dez/2025	Velocimétrico × Velocimétrico	4	377	22,44	1.908	+11,05
Jan/2026 × Mar/2026	Velocimétrico × Volumétrico	3	525	12,94	1.572	+2,78

Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

O maior acréscimo percentual (+11,05%) foi registrado no grupo de DMCs com substituição de hidrômetros velocimétricos antigos por novos velocimétricos, reforçando a relação entre envelhecimento do medidor e submedição. No grupo com substituição por volumétricos, o resultado consolidado foi positivo (+2,78%), embora com comportamento heterogêneo entre os setores avaliados.

A análise do ganho médio por hidrômetro substituído, apresentada na Tabela 3, permite comparar o desempenho unitário entre as duas modalidades de intervenção:

Tabela 3 - Ganho médio de volume por hidrômetro substituído.

Período	Acréscimo Total (m³)	Medidores Substituídos	Ganho Médio (m³/med/mês)
Ago/2025 × Dez/2025	1.908	377	5,06
Jan/2026 × Mar/2026	1.572	525	3,00

Fonte: elaboração própria (SANESUL/GERPP, 2026).

O maior ganho unitário (5,06 m³/med/mês) foi obtido no grupo velocimétrico × velocimétrico, coerente com a hipótese de degradação metrológica associada ao envelhecimento. A substituição por volumétricos também resultou em ganho médio positivo (3,00 m³/med/mês), indicando recuperação de volume especialmente em áreas de maior sensibilidade comercial.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A confrontação entre o volume recuperado estimado pelo estudo preliminar e o volume efetivamente observado após as substituições é apresentada na Tabela 4:

Tabela 4 - Comparação entre volume recuperado estimado e observado por medidor.

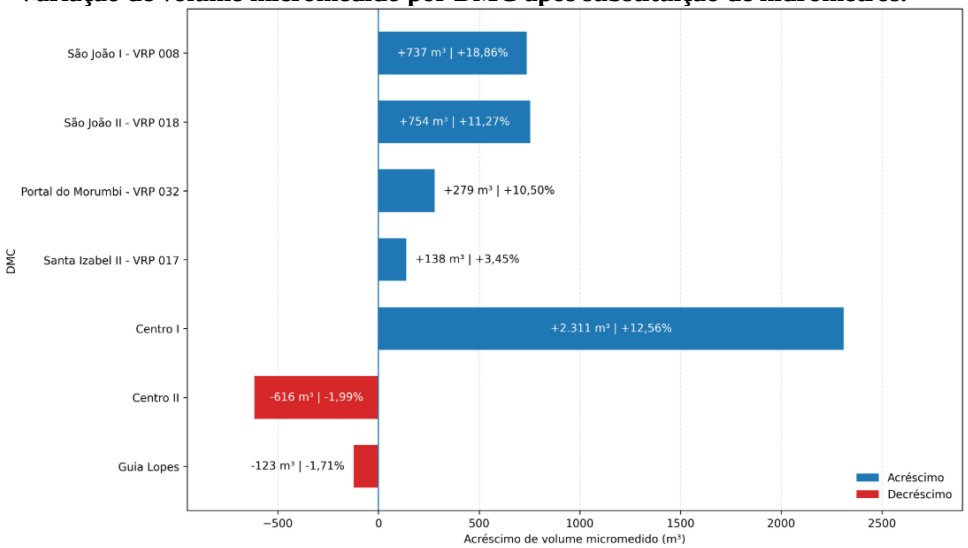
DMC	Volume Recuperado Estimado (m³/med/mês)	Volume Recuperado Observado (m³/med/mês)
São João I – VRP 008	1,85	10,10
São João II – VRP 018	1,67	5,38
Portal do Morumbi – VRP 032	2,32	5,16
Santa Izabel II – VRP 017	1,97	1,25

Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

Em três dos quatro DMCs avaliados, o volume recuperado por medidor superou a estimativa preliminar. O caso mais expressivo foi o São João I (VRP-008), cujo resultado observado (10,10 m³/med/mês) foi aproximadamente 5,5 vezes superior à estimativa inicial (1,85 m³/med/mês). Esse desempenho sugere que o IDM aplicado, construído com base em referências bibliográficas nacionais, pode ser conservador para o parque de medidores locais, indicando submedição superior à projetada. A exceção foi o Santa Izabel II (VRP-017), onde o resultado observado (1,25 m³/med/mês) ficou aquém do estimado (1,97 m³/med/mês), o que pode ser atribuído a características operacionais locais do DMC.

Nos DMCs Centro I, Centro II e Guia Lopes, o comportamento da micromedição foi heterogêneo. Enquanto o Centro I apresentou acréscimo expressivo de 2.311 m³ (+12,56%), os DMCs Centro II (–1,99%) e Guia Lopes (–1,71%) registraram redução no volume micromedido no período comparado, os resultados podem ser visualizados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Variação de volume micromedido por DMC após substituição de hidrômetros.

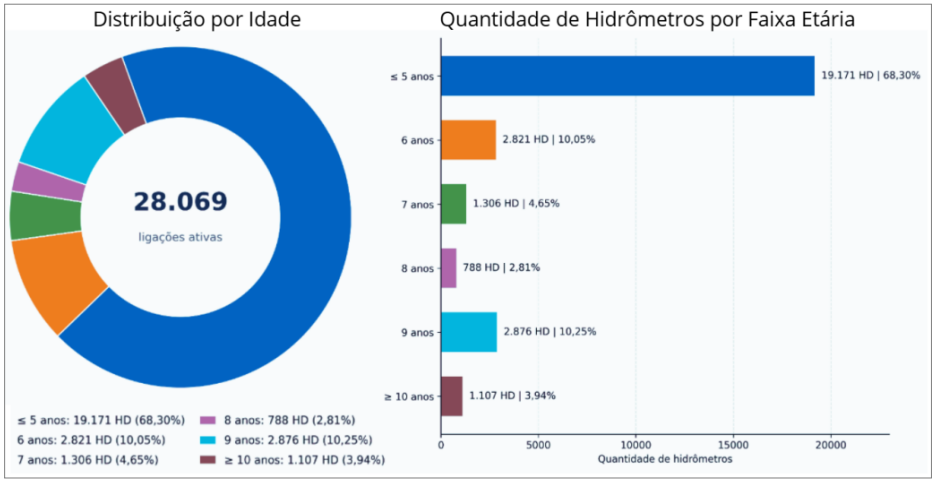


Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

Com relação ao parque de hidrômetros geral do Sistema de Abastecimento de Ponta Porã, o levantamento realizado identificou 8.898 hidrômetros com idade igual ou superior a seis anos nas 28.069 ligações ativas, o

que corresponde a 31,70% do parque total. Esse dado é relevante, pois confirma que parcela significativa dos medidores se encontra na faixa etária de maior risco de degradação metrológica.

Gráfico 2 – Idade do Parque de Hidrômetros – panorama geral de Ponta Pora/MS.



Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

O subconjunto de hidrômetros com 9 a 15 anos de operação concentra 3.969 unidades, associadas a volume submedido estimado de 12.855,90 m³/mês, representando 53,02% de toda a submedição estimada para o parque ≥ 6 anos, conforme Tabela 5. Esse grupo apresenta o melhor retorno por unidade substituída, com ganho médio estimado de 3,08 m³/med/mês, tornando-o prioritário sob a ótica financeira.

Tabela 5 - Submedição dos Hidrômetros com idades maiores ou iguais a 9 anos.

Idade	Qtd	Vol. Micro período	IDM	Estimativa de submedição média (m³)	IERV
9	2.864	31.175	77,00%	9.312,01	31%
10	693	6.156	74,00%	2.162,92	32%
11	136	1.243	71,00%	507,70	28%
12	47	234	71,00%	95,58	49%
13	42	452	71,00%	184,62	23%
14	43	344	71,00%	140,51	29%
15	144	1.108	71,00%	452,56	33%
TOTAL	**3.969**	**-**	**-**	**12.855,90**	**30,87%**

Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

No que tange à viabilidade econômica, a análise de payback descontado, com TMA de 15% a.a. e tarifa de referência de R$ 10,05/m³, demonstrou elevada atratividade econômica em todos os cenários avaliados, conforme a Tabela 6:

Tabela 6 - Síntese da análise de viabilidade econômica por cenário.

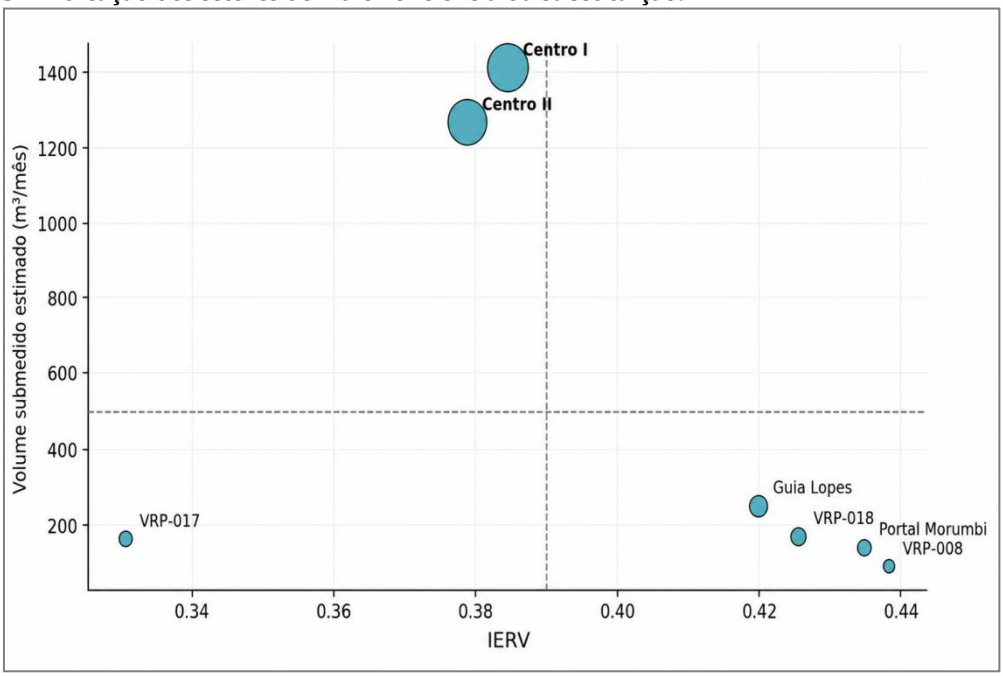
Cenário	Investimento (R$)	Payback Descontado	VPL (R$)
Geral – HD ≥ 6 anos (8.931 un.)	1.187.823,00	5,83 meses	7.356.408,75
Parcial – HD ≥ 9 anos (3.969 un.)	527.877,00	2,59 meses	8.016.354,75
DMCs Centro I e II – Velocimétrico	136.059,00	6,12 meses	797.078,63
DMCs Centro I e II – Volumétrico	148.335,00	6,67 meses	784.802,63

Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026). TMA: 15% a.a. Tarifa: R$ 10,05/m³.

O cenário com priorização dos hidrômetros de 9 a 15 anos apresentou o melhor resultado financeiro combinado: menor payback (2,59 meses) e maior VPL (R$ 8.016.354,75). Esse resultado decorre da maior degradação metrológica associada a essa faixa etária, que eleva o volume recuperável líquido por unidade substituída.

Com base no diagnóstico atual do parque de hidrômetros e na aplicação combinada do IERV e do volume submedido absoluto, os DMCs Centro I e Centro II emergem como áreas estratégicas prioritárias para a continuidade do programa de substituição preventiva. O levantamento identificou 543 hidrômetros com idade igual ou superior a seis anos no Centro I e 480 no Centro II, associados a volumes submedidos estimados de 1.412,08 m³/mês e 1.267,11 m³/mês, respectivamente. Juntos, esses dois setores concentram 2.679,19 m³/mês de submedição estimada, equivalente a 76,7% da receita potencial total identificada nos DMCs avaliados.

Gráfico 3 - Indicação dos setores de maior eficiência da substituição.



Fonte: elaboração própria (SANESUL, 2026).

A análise de viabilidade econômica reforça essa priorização. Considerando a substituição dos 1.023 hidrômetros com idade igual ou superior a seis anos nesses dois setores, o payback descontado estimado é de 6,12 meses para medidores velocimétricos (investimento de R$ 136.059,00 e VPL de R$ 797.078,63) e de 6,67 meses para volumétricos (investimento de R$ 148.335,00 e VPL de R$ 784.802,63). Ambas as alternativas tecnológicas apresentam viabilidade econômica positiva, com retorno do capital ainda no primeiro ano de operação.

A escolha entre velocimétrico e volumétrico para esses setores deve considerar o perfil de consumo predominantemente comercial da região central de Ponta Porã. Os hidrômetros volumétricos apresentam maior estabilidade metrológica em baixas vazões e curva de erro mais plana ao longo do tempo, sendo tecnicamente mais adequados para perfis de consumo com maior variabilidade de vazão.

CONCLUSÃO/ RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos confirmam que a substituição preventiva de hidrômetros, quando estruturada por critérios técnicos objetivos, constitui estratégia eficaz e financeiramente atrativa para o controle de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água. As intervenções realizadas nos sete DMCs da GERPP demonstraram acréscimo real de volume micromedido em ambos os grupos avaliados, evidenciando a existência de submedição sistêmica que não seria detectada por ações de pesquisa de vazamentos ou combate a fraudes, ferramentas voltadas exclusivamente às perdas reais e ao consumo não autorizado.

A validação do IERV como ferramenta de priorização representa a principal contribuição metodológica deste trabalho. Em três dos quatro DMCs avaliados na Etapa 1, o volume recuperado por medidor superou a estimativa preliminar, com destaque para o São João I (VRP-008), cujo resultado observado (10,10 m³/med/mês) foi 5,5 vezes superior à projeção inicial (1,85 m³/med/mês). Esse desempenho indica que a curva de IDM adotada tende a ser conservadora para o parque local, o que reforça, em vez de enfraquecer, a robustez da metodologia: as estimativas de submedição constituem um piso, não um teto. O único setor com resultado inferior ao estimado (Santa Izabel II – VRP-017) demonstra que variáveis operacionais locais modulam a resposta à substituição, sem invalidar o método.

Sob a ótica econômica, todos os cenários analisados apresentaram payback descontado inferior a sete meses e VPL amplamente positivo com TMA de 15% a.a. O cenário de maior atratividade, priorização dos hidrômetros com 9 a 15 anos, combina menor prazo de retorno (2,59 meses) com maior VPL (R$ 8.016.354,75), resultado direto da maior degradação metrológica associada a essa faixa etária. Esse subconjunto, com 3.969 unidades, concentra 53,02% de toda a submedição estimada do parque ≥ 6 anos, tornando-o o recorte de maior eficiência técnica e financeira para as próximas etapas de investimento.

Os DMCs Centro I e Centro II merecem atenção estratégica prioritária na continuidade do programa. Com 543 e 480 hidrômetros ≥ 6 anos respectivamente, e volumes submedidos estimados de 1.412,08 m³/mês e 1.267,11 m³/mês, esses dois setores respondem por 76,7% da receita potencial total identificada nos DMCs avaliados, R$ 306.954,80/ano. A análise de viabilidade econômica confirma a atratividade da intervenção tanto com velocimétricos (payback 6,12 meses; VPL R$ 797.078,63) quanto com volumétricos (payback 6,67 meses; VPL R$ 784.802,63). A escolha tecnológica deve considerar o perfil predominantemente comercial da região: os volumétricos apresentam curva de erro mais estável em baixas vazões e maior longevidade metrológica, características que os tornam mais adequados a áreas com maior variabilidade de consumo.

Com 8.898 hidrômetros ≥ 6 anos representando 31,70% do parque ativo de Ponta Porã, o diagnóstico reforça que a submedição não é um problema pontual, mas estrutural. Liemberger e Farley (2004) alertam que companhias sem estratégia sistemática de renovação do parque de micromedição tendem a acumular submedição progressivamente, o que amplifica as perdas aparentes e compromete a confiabilidade dos indicadores comerciais e operacionais. O presente estudo demonstra que esse risco pode ser gerenciado de forma tecnicamente fundamentada e economicamente viável.

Recomenda-se que o programa de substituição preventiva da SANESUL/GERPP seja estruturado como política contínua, orientada por três critérios simultâneos: (i) idade dos equipamentos, com prioridade operacional para medidores ≥ 9 anos; (ii) IERV de cada DMC, como indicador de eficiência relativa da intervenção; e (iii) volume submedido absoluto, como indicador de impacto operacional e financeiro esperado. Recomenda-se ainda que estudos futuros desenvolvam curva específica de degradação metrológica para hidrômetros volumétricos em campo, de modo a aprimorar as estimativas de submedição para essa tecnologia e reduzir a dependência de extrapolação conservadora do IDM dos velocimétricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15538*: Medidores de água potável – Ensaios para avaliação de eficiência. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

2. COBACHO, R.; ARREGUI, F.; CABRERA, E.; CABRERA JÚNIOR, E. *Private water storage tanks*: evaluating their inefficiencies. Water Practice and Technology, v. 3, n. 1, 2008. https://doi.org/10.2166/WPT.2008025.

3. CRIMINISI, A.; FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. *Evaluation of the apparent losses caused by water meter under-registration in intermittent water supply*. Water Science and Technology, v. 60, n. 9, p. 2373–2382, 2009. https://doi.org/10.2166/wst.2009.423.

4. FONTANAZZA, C. M.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G.; NOTARO, V.; PULEO, V. *A composite indicator for water meter replacement in an urban distribution network*. Urban Water Journal, v. 9, n. 6, p. 419–428, 2012. https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.690434.

5. GULARTE, C. B. *Um estudo sobre a submedição em hidrômetros para aplicação no controle de perdas aparentes no sistema de abastecimento de água de Blumenau*. Florianópolis, 2005. Dissertação (Mestrado em

Metrologia Científica e Industrial) – Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/103013/224237.pdf. Acesso em: 15 maio 2026.

6. INSTITUTO TRATA BRASIL. *Perdas de Água 2023 (SNIS 2021)*: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico no Brasil. São Paulo: Instituto Trata Brasil / GO Associados, 2023. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/perdas-de-agua-2023/. Acesso em: 15 maio 2026.

7. LAMBERT, A. O.; HIRNER, W. *Losses from water supply systems*: standard terminology and recommended performance measures. Londres: IWA – International Water Association, 2000.

8. LIEMBERGER, R.; FARLEY, M. *Developing a non-revenue water reduction strategy, part 1*: investigating and assessing water losses. In: IWA 4th World Water Congress, Marrakech, 2004. Proceedings... Londres: IWA, 2004.

9. SANTOS, E. B.; POVINELLI, S. C. S.; BARBASSA, A. P. *Gerenciamento de perdas de água em sistemas de abastecimento por meio de indicadores de terceiro nível dos processos envolvidos*. Revista DAE, São Paulo, v. 71, n. 242, p. 128–145, set. 2023. https://doi.org/10.36659/dae.2023.060.

10. SINISA – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO. *Ranking do Saneamento 2025 (SINISA 2023)*. Brasília: Ministério das Cidades / GO Associados, 2025. Disponível em: https://tratabrasil.org.br. Acesso em: 15 maio 2026.

11. TARDELLI FILHO, J. *Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água*. Revista DAE, São Paulo, v. 64, n. 201, p. 6–20, jan./abr. 2016. https://doi.org/10.4322/dae.2015.012.

12. TARDELLI FILHO, J. *Controle e redução de perdas*. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP, 2006. 643 p.

13. THORNTON, J.; STURM, R.; KUNKEL, G. *Water loss control*. 2. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2008. 632 p.

14. TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água*. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP, 2006. 643 p. ISBN: 85-900823-6-9.

15. FRAUENDORFER, R.; LIEMBERGER, R. *The issues and challenges of reducing non-revenue water*. Mandaluyong City: Asian Development Bank, 2010. ISBN: 978-92-9092-193-6.