

ANÁLISE COMPARATIVA DE DESEMPENHO DE MEDIDORES ULTRASSÔNICOS E ELETROMAGNÉTICOS UTILIZADOS NA MICROMEDIÇÃO

Felipe Vieira de Luca⁽¹⁾

Eng^o Sanitarista e Ambiental – UFSC. Pós-Graduação em Gestão Pública – UFSC. Pós-Graduação Programa de Desenvolvimento de Dirigentes – Fundação Dom Cabral. Mestrando em Eng. Civil – UDESC. Coordenador de Micromedição e Faturamento, Eng^o Sanitarista na Companhia Águas de Joinville – Santa Catarina, atuação em controle de perdas, micromedição, IoT e faturamento. <https://www.linkedin.com/in/felipe-de-luca-595b7aab/>

Lucas Lepinski Golin Freitas⁽²⁾

Graduando em Engenharia Civil – UDESC. Estagiário, atuação em análise de dados, Companhia Águas de Joinville – Santa Catarina.

Edinara Fernanda Werner⁽³⁾

Técnica em Saneamento – Centro Federal de Educacional Tecnológica de Santa Catarina. Técnica em Saneamento, atuação em controle de perdas, micromedição, IoT – Companhia Águas de Joinville – Santa Catarina. Graduação em Pedagogia – UFSC. Graduanda em Serviço Social – Faculdade Uniasselvi.

José Moacir Fabian Júnior⁽⁴⁾

Eng^o de Controle e Automação – Faculdade Anhanguera. Técnico Industrial com Habilitação em Eletromecânica – SENAI. Fiscal de serviços, atuação em IoT, Companhia Águas de Joinville – Santa Catarina.

Ezaqueu Cardoso⁽⁵⁾

Graduando em Engenharia Civil – Faculdade Anhanguera. Técnico em Saneamento – Associação Educacional e Tecnológica de Santa Catarina Assessoritec. Técnico em Saneamento, atuação na operação do abastecimento de água, Companhia Águas de Joinville – Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Rua XV de Novembro, 3.950 - Glória - Joinville - Santa Catarina - CEP: 89216-202 - Brasil - Tel: +55 (47) 99286-0005 - e-mail: felipe.luca.81@gmail.com.

RESUMO

O presente estudo contemplou a comparação de desempenho de dois hidrômetros, um de modelo ultrassônico e outro eletromagnético, instalados em série para medição do consumo de uma indústria localizada no município de Joinville, estado de Santa Catarina – Brasil. Foi utilizado sistema de *internet of things* para coleta remota de dados de cada hidrômetro analisado, sendo que as leituras de consumo eram obtidas em intervalos horários, e totalizou-se 74 dias analisados. Um fator denominado diferença de consumo foi calculado para mensurar diferenças registradas dentre os hidrômetros, e posteriormente utilizado para traçar uma projeção econômica de acordo com o hidrômetro mais eficiente. Foi apurado que o hidrômetro ultrassônico em 39,98% das leituras horárias registrou mais consumo que o hidrômetro eletromagnético, sendo que somente em 15,09% dos casos o oposto ocorreu. Em média, o hidrômetro ultrassônico registrou 1,32 m³ de consumo a mais por dia em relação ao hidrômetro eletromagnético, resultando em um ganho significativo de renda para a companhia de abastecimento. Os dois medidores apresentaram resultados muito semelhantes, ou seja, a performance é satisfatória em ambas as tecnologias, no entanto com vantagem para o medidor ultrassônico.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrômetro ultrassônico, Eletromagnético, *Internet of Things*.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência do ser humano, e a escassez e limitação deste valioso recurso tem sido uma crescente preocupação para a sociedade contemporânea (Unesco, 2013). Em virtude disto, companhias de distribuição de água, privadas ou públicas, entendem à necessidade de medir precisamente o volume de água de seus respectivos sistemas de distribuição (Heiner *et al.* 2011).

A micromedição precisa do volume de água, além de suas implicações ecológicas, também possui impacto no setor econômico das entidades envolvidas no processo de distribuição de água, visto que tal processo inclui

diversas etapas como coleta, tratamento e finalmente distribuição. Desta forma, visto que grandes volumes de água são movimentados diariamente para suprir as necessidades hídricas da população global, a micromedição tem um papel significativo em cada etapa para evitar o desperdício de água.

Dentro do sistema de abastecimento de água, os hidrômetros são os equipamentos responsáveis pelo registro do consumo de água. Atualmente, existem diversos modelos de hidrômetros disponíveis no mercado, sendo os mais utilizados os taquimétricos unijato ou multijato, hidrômetros volumétricos, bem como eletromagnéticos, e ainda os ultrassônicos. Cada modelo, além de utilizarem diferentes formas de medição com suas vantagens e desvantagens, também apresentam diferentes custos no mercado (Prettyman et al., 2016). Ressalta-se que a submedição de hidrômetros é uma parcela importante na composição das perdas no sistema de distribuição de água (Depexe, 2017).

Hidrômetros eletromagnéticos utilizam o princípio da Lei da Indução de Faraday para calcular o fluxo de água que passa por um campo magnético (Baker, 2016). Em contraste, hidrômetros ultrassônicos emitem ondas sonoras que se propagam pelo fluido presente na tubulação, sendo possível mensurar o fluxo de duas formas: monitorando a mudança de frequência ou o tempo de deslocamento do som emitido (Baker, 2016).

Mesmo para quem não trabalha em companhias de saneamento, é intuitivo pensar que os hidrômetros utilizados para medir a água em uma unidade consumidora de pequeno porte como é o caso das residências, não pode ser o mesmo para os grandes consumidores, como indústrias, hospitais, condomínios residenciais, etc. Isso significa que o dimensionamento e a escolha do tipo de hidrômetro devem ser analisados seguindo alguns parâmetros a fim de se compatibilizar com o consumo da unidade. Para os grandes consumidores existe uma tendência das concessionárias em fazerem uso de tecnologias mais avançadas na micromedição, como é o caso do uso de medidores ultrassônicos e eletromagnéticos, foco deste estudo.

Tal medida surge no intuito de preservar a micromedição, reduzindo a submedição, a qual impacta diretamente o índice de perdas da concessionária de saneamento pelo fato de permitir a passagem de água até o consumidor final sem que a mesma seja contabilizada, comprometendo, portanto, o balanço hídrico e o faturamento da concessionária, uma vez que a receita de uma empresa desta natureza é proveniente da somatória do volume registrado em unidades consumidoras.

Quando o foco são os grandes consumidores, que representam um percentual significativo do volume faturado e da receita da companhia de saneamento, o cuidado no que diz respeito ao dimensionamento e escolha da tecnologia deve ser ainda maior. As análises de dados da CAJ em maio de 2020 indicam que os grandes consumidores representam 1,3 % das matrículas ativas e totalizam **25 %** de todo o volume faturado da cidade de Joinville.

O objetivo deste artigo é analisar as diferenças de leitura e comportamento dos medidores ultrassônicos e eletromagnéticos, instalados em série na mesma tubulação, e complementarmente analisar a viabilidade econômica de cada hidrômetro dentro do contexto de micromedição.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os erros de medição dos hidrômetros, podem ter as seguintes causas: “desgaste, envelhecimento, instalação inadequada e seleção e dimensionamento inadequados” (Gameiro, 2007). Este último é mais conhecido por subdimensionamento e sobredimensionamento dos medidores. E mais, Tardelli Filho (2004) afirma que os hidrômetros apresentam imprecisão natural que varia com os tipos de medidores disponíveis no mercado. Esta imprecisão pode ser incrementada devido a fatores tais como: instalação inadequada, descalibração do medidor, dimensionamento inadequado, operando com baixas velocidades, grande amplitude entre vazões máximas e mínimas, problemas na transmissão dos dados quando se utiliza telemetria, erros de paralaxe, dentre outros.

Estudos abordando hidrômetros e seus variados modelos foram desenvolvidos ao longo das últimas décadas. Como cada modelo de hidrômetro apresenta características específicas de funcionamento e custos variados, salienta-se a importância de conhecer o produto antes da compra para que este atenda de forma satisfatória as necessidades do cliente.

Prettyman *et al.* (2016) realizaram um estudo na Universidade norte-americana de Utah, para sete diferentes tipos de hidrômetros, incluindo um hidrômetro ultrassônico e um eletromagnético, comparados com finalidade de salientar as diferenças de leitura e impacto econômico de cada modelo analisado. Heiner *et al.* (2016) estudaram a precisão de vários aparatos de micromedição, incluindo hidrômetros ultrassônicos e eletromagnéticos, aonde foi encontrado um erro de leitura variando de -5,16% a 6,90% para hidrômetros ultrassônicos e -16,96% a 14,29% para hidrômetros eletromagnéticos. Carlander e Delsing (2000) analisaram em um estudo experimental possíveis fatores que possam interferir no sistema de micromedição de um hidrômetro ultrassônico. Berrebi *et al.* (2004) mencionam que perturbações na tubulação causadas por aparatos como bombas, compressores e válvulas podem causar interferências significativas em leituras por hidrômetros ultrassônicos. Miranda *et al.* (2013) abordam a presença de ar em tubulações de abastecimento de água e seu impacto no funcionamento de hidrômetros, aonde um hidrômetro eletromagnético foi utilizado como referência.

a) HIDRÔMETROS ELETROMAGNÉTICOS

Em 1832 Faraday descobriu a possibilidade de induzir voltagens em líquidos se movimentando ao longo de um campo magnético, todavia o primeiro projeto de um hidrômetro eletromagnético registrado foi feito por Willians em 1930 (Baker, 2016).

Um hidrômetro eletromagnético utiliza o princípio da Lei da Indução de Faraday. De forma simplificada, uma indução magnética ocorre quando um condutor, neste caso a água, se move por um campo magnético. Tal campo magnético é criado, normalmente, por bobinas posicionadas nas paredes da tubulação perpendicular ao fluxo do líquido. Finalmente, dois eletrodos são posicionados nas paredes da tubulação, perpendicular a ambos o fluxo do líquido e as bobinas indutoras. Tais eletrodos são responsáveis por registrarem a voltagem do sistema, de acordo com a equação 1:

$$\Delta U = \mathbf{B} \times \mathbf{D} \times \mathbf{V}_m \quad \text{equação (1)}$$

Sendo que ΔU representa a voltagem do sistema, \mathbf{B} o valor do campo magnético presente, \mathbf{D} o diâmetro da tubulação e \mathbf{V}_m a velocidade média na tubulação em metros por segundo (Baker, 2016).

Salienta-se que a tubulação em si deve ser constituída por um material não magnético para que o campo magnético consiga penetrar a tubulação. Seguindo este raciocínio, a presença de campos magnéticos provenientes de fontes externas pode interferir no funcionamento adequado do hidrômetro eletromagnético.

A equação 1 é a equação básica para qualquer hidrômetro eletromagnético, contanto que duas condições importantes sejam satisfeitas:

1. O campo magnético é uniforme;
2. O perfil de velocidade é simétrico em relação ao eixo do fluxo.

A partir da voltagem é possível inferir o fluxo de água na tubulação, utilizando equações e constantes fornecidas pelo fabricante do hidrômetro.

Os hidrômetros eletromagnéticos podem ser instalados em qualquer posição em relação ao eixo de fluxo da tubulação sem a necessidade de haver trecho reto, de forma que o desempenho do hidrômetro não seja alterado.

b) HIDRÔMETROS ULTRASSÔNICOS

A primeira proposta de utilização de ondas ultrassônicas para mensurar fluxo de um líquido foi proposta por uma patente alemã em 1928, porém somente a partir de 1945 a ideia foi difundida com a invenção de transdutores piezoelétricos que tornaram aplicações ultrassônicas mais atrativas (Baker, 2016).

Hidrômetros ultrassônicos utilizam ondas sonoras para determinar a velocidade de um fluido presente em uma tubulação. Quando não há fluxo na tubulação, as frequências das ondas ultrassônicas transmitidas na tubulação e suas respectivas ondas refletidas pelo fluido, são as mesmas. Já quando há a presença de fluxo na tubulação, a frequência da onda refletida pelo fluido é diferente devido ao efeito Doppler. Quanto mais rápido o fluido se move, a frequência aumenta de forma linear. Finalmente, o transmissor acoplado processa os sinais das ondas transmitidas e suas reflexões para determinar o fluxo do líquido.

Hidrômetros ultrassônicos de tempo de transição operam de forma análoga, porém não utilizam os valores de frequência para determinar o fluxo e sim o tempo de transição das ondas geradas e refletidas pelo líquido.

De acordo com Coelho (2009), o princípio de funcionamento deste medidor ocorre por meio de ecos em tempos diferentes, conforme se pode observar na Figura 1. O desempenho não é afetado sob fluxo turbulento. Também não registra a passagem de ar e é insensível a sedimentação ou partículas em suspensão porque não possui partes móveis mecânicas.

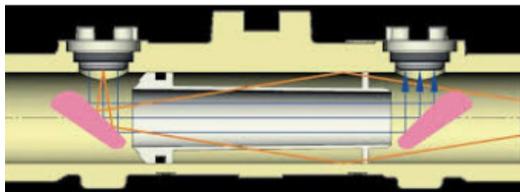


Figura 1: Princípio de funcionamento do hidrômetro ultrassônicos

O medidor apresenta a mesma metrologia (classe C), independentemente da posição em que é instalado, horizontal ou vertical. A vida útil varia de acordo com o uso e manutenção, mas no que se refere à bateria, com duração se estendendo até 12 anos.

METODOLOGIA

Os dados utilizados neste artigo foram coletados de dois hidrômetros instalados em série, sendo um hidrômetro eletromagnético e outro ultrassônico, na tubulação de abastecimento de água pertencente a uma empresa fabricante de equipamentos odontológicos, localizada no município de Joinville – Santa Catarina. Complementarmente, conforme informado pela CAJ o consumo médio mensal de água da indústria é de 1.448 m³/mês.

Os medidores foram instalados em série para possibilitar a comparação e a finalidade do teste, porém, atendendo rigorosamente as recomendações de instalação de cada modelo.

Ressaltando que ambos os modelos, de acordo com os fornecedores, podem-se instalar em qualquer posição em relação ao eixo de fluxo da tubulação e ainda sem a necessidade de haver trecho reto, de forma que o desempenho não é alterado (Figura 2). Os fornecedores estiveram cientes do processo de instalação.



Figura 2: Hidrômetro ultrassônico na cor azul (à esquerda) e hidrômetro eletromagnético na cor verde (à direita).

Os medidores foram devidamente calibrados antes do início do estudo pelos próprios fornecedores encontrando-se dentro do túnel de erros admissíveis pelas portarias do INMETRO que tratam sobre a matéria.

Os dados de leituras horárias provenientes dos hidrômetros foram coletados remotamente através de sistema *internet of things*. Para ambos os hidrômetros analisados, a cada 100 litros de água registrados pelo hidrômetro, um pulso é enviado a um rádio transmissor acoplado ao hidrômetro, que em sequência envia sinal para um concentrador de dados, aonde é registrado o incremento de consumo de 0,1 m³. Desta forma o sistema registra o consumo total com base no número de pulsos recebidos a cada hora. Cada hidrômetro envia ainda sua leitura atual e são totalizadas 24 leituras por dia.

O sistema tem como característica principal o uso de rádio frequência (RF) para a captura dos sinais de leitura. A grande vantagem é poder monitorar em tempo real o fluxo de água, por meio da leitura e consumo dos medidores.

Atualmente a Companhia Águas de Joinville possui 2.136 pontos telemedidos, ou seja, hidrômetros monitorados por este sistema, em um parque com 155.056 ligações de água. Isso representa apenas 1,37% das matrículas do município de Joinville, porém, quando se trata de faturamento, o percentual de volume telemedido é de 17,6%.

Tabela 1: Quadro com dados referente ao mês maio/2020

Percentual volume com telemetria	17,6%
Quantidade com telemetria	2.136
Quantidade total matrículas parque todo	155.056
Percentual de matrículas com telemetria	1,37%

A Figura 3 demonstra a distribuição de grandes consumidores de água do município de Joinville, cujo consumo mensal é superior a 550 m³.

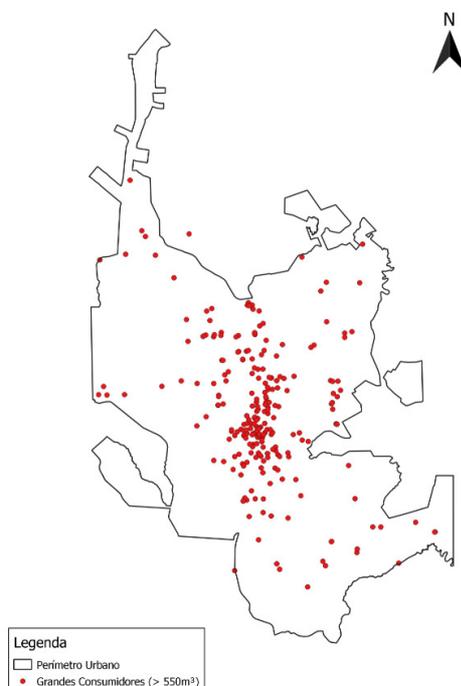


Figura 3: Distribuição dos grandes consumidores, acima de 550m³/mês, no município de Joinville.

A partir dos dados coletados os consumos registrados por cada hidrômetro separadamente foram comparados com intuito de analisar possíveis diferenças de leitura entre cada hidrômetro. A diferença de consumo é expressa pela equação 2:

$$\Delta_i = C_{ei} - C_{ui} \quad \text{equação (2)}$$

Aonde Δ_i representa a diferença de consumo durante a hora i , C_{ei} representa o consumo registrado pelo hidrômetro eletromagnético e analogamente C_{ui} representa o consumo registrado pelo hidrômetro ultrassônico durante a hora i .

Pode-se inferir da equação 1 que se Δ_i apresentar um valor negativo indica que o hidrômetro ultrassônico registrou um consumo maior que o hidrômetro eletromagnético. Analogamente, se Δ_i apresentar um valor positivo, o hidrômetro eletromagnético registrou um consumo maior que o hidrômetro ultrassônico. Infere-se também que se Δ_i for igual a zero ambos os hidrômetros registraram o mesmo valor de consumo para determinada hora i . Desta forma, ressalta-se que Δ_i serve como um indicativo da variação de consumo entre os hidrômetros analisados.

A partir dos valores obtidos para Δ_i foi elaborado um gráfico de dispersão por tempo, contendo tais diferenças de consumo ao longo do período de coleta de dados.

A partir da diferença de consumo média é possível traçar uma projeção anual com intuito de observar o impacto econômico ocasionado pela diferença Δ_i . A equação 3 demonstra o Faturamento Adicional (FA) em um ano:

$$FA = |\Delta_{im}| \times P_u \times 365 \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

- **FA** representa o faturamento anual adicional ocasionado pela diferença de leituras dentre os hidrômetros, em reais;
- Δ_{im} representa a diferença média de consumo por dia, em m^3 por dia;
- P_u representa o preço unitário por m^3 de água do setor industrial do município de Joinville, em $R\$/m^3$, e informado pela CAJ.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a) ANÁLISE DE CONSUMO

Dados foram coletados durante o período de 13/02/2020 até 26/04/2020, totalizando 74 dias analisados resultando em um total de 1.776 leituras para cada hidrômetro. O gráfico de dispersão demonstrado na Figura 4 expressa a diferença de consumo horária durante o período analisado:

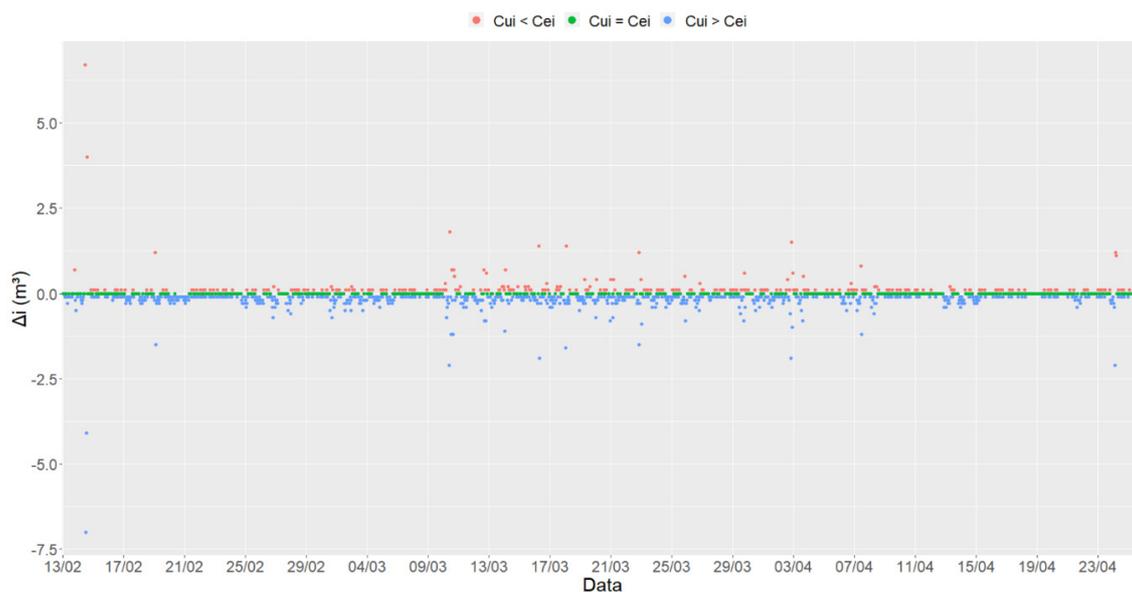


Figura 4: Diferença de consumo horário durante o período de coleta de dados.

A Tabela 2 expressa os valores de média, mediana, desvio padrão e leitura máxima de consumo por hora, de cada hidrômetro analisado e complementarmente de Δ_i .

Tabela 2: Sumário estatístico: consumo por hora

	MÉDIA (m ³ /h)	MEDIANA (m ³ /h)	DESVIO PADRÃO (m ³ /h)	LEITURA MÁXIMA (m ³ /h)
HIDRÔMETRO ULTRASSÔNICO	2,17	0,5	2,79	13,10
HIDRÔMETRO ELETROMAGNÉTICO	2,11	0,5	2,71	12,60
DIFERENÇA DE CONSUMO (Δ_i)	-0,056	0	0,34	6,7

Em relação as leituras horárias de consumo, em 39,98% dos casos o hidrômetro ultrassônico registrou um consumo maior, em 15,09% dos casos o consumo registrado foi maior no hidrômetro eletromagnético e nos restantes 44,93% o consumo registrado foi o mesmo para ambos os hidrômetros.

Analogamente, a Figura 5 e a Tabela 3 expressam a diferença de consumo diária durante o período analisado.

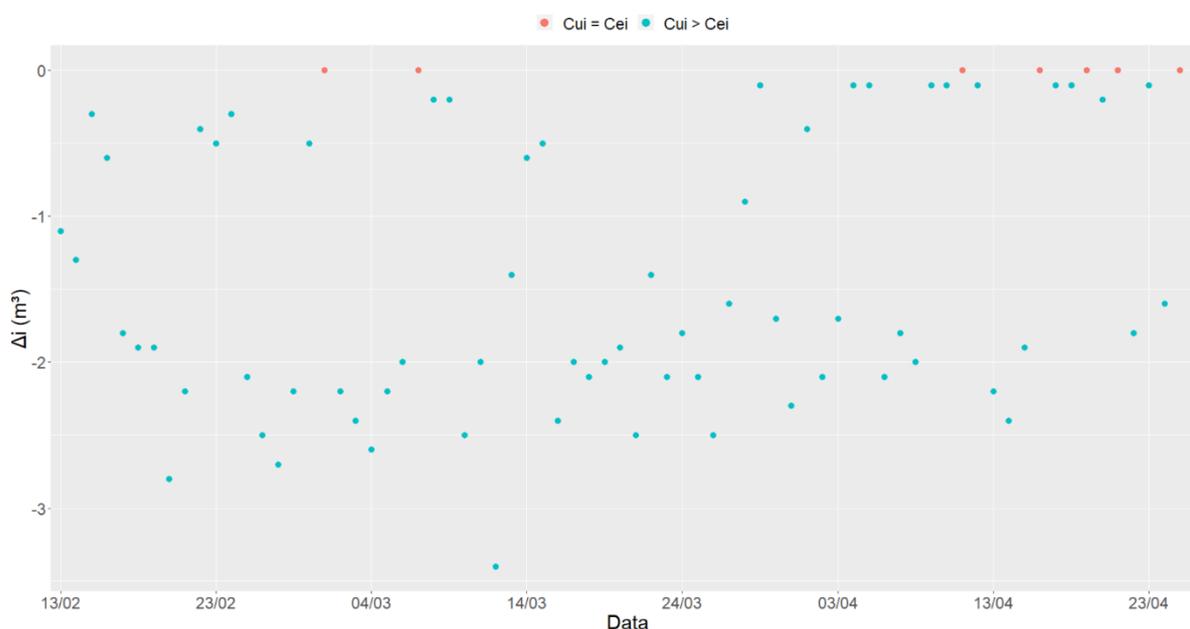


Figura 5: Diferença de consumo diário durante o período de coleta de dados.

Tabela 3: Sumário estatístico: consumo por dia

	MÉDIA (m ³ /dia)	MEDIANA (m ³ /dia)	DESVIO PADRÃO (m ³ /dia)	LEITURA MÁXIMA (m ³ /dia)
HIDRÔMETRO ULTRASSÔNICO	50,88	68,10	34,82	98
HIDRÔMETRO ELETROMAGNÉTICO	49,56	66,55	33,87	94,60
DIFERENÇA DE CONSUMO (Δ_i)	-1,32	-1,70	0,98	-3,40

A Figura 6 expressa o consumo total por dia, de ambos os hidrômetros, durante o período analisado.

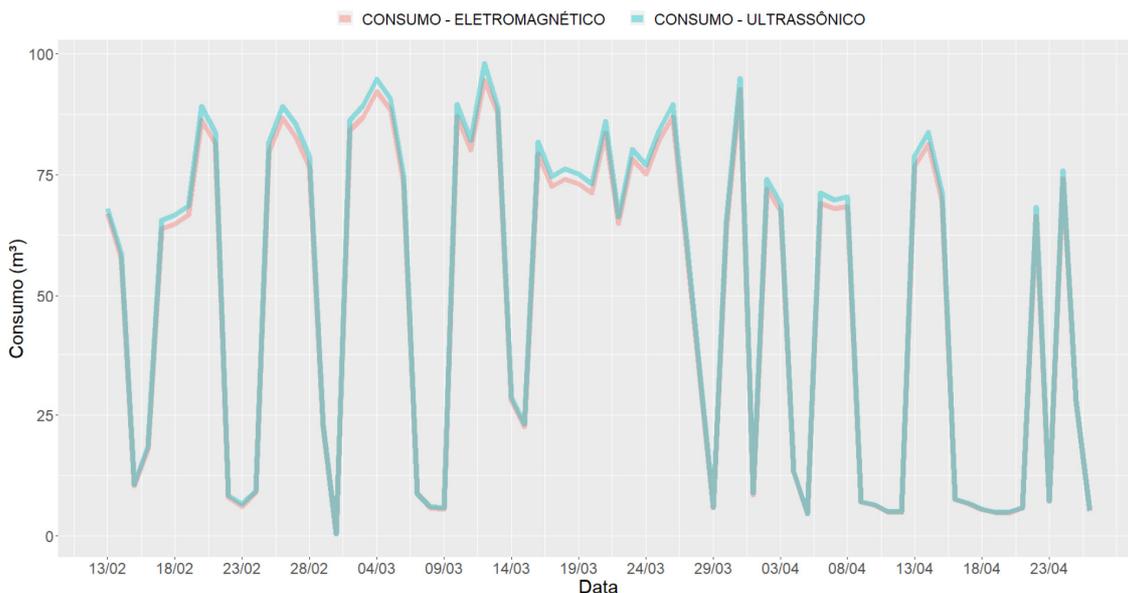


Figura 6: Consumo registrado de cada hidrômetro.

Observando a Figura 4 é possível observar leituras em que o hidrômetro eletromagnético obteve melhor desempenho, o que não pode ser observado na Figura 5, salientando a importância da micromedição em intervalos menores, neste caso horários, para averiguar de forma mais detalhada o desempenho dos hidrômetros.

Pode-se observar nas Figuras 4, 5 e 6 que o hidrômetro ultrassônico atingiu registros de consumo superiores em relação ao hidrômetro eletromagnético, considerando período total do estudo.

b) ANÁLISE DE FATURAMENTO

Como Δ_{im} apresentou um valor negativo, na ordem de $1,32 \text{ m}^3/\text{dia}$, infere-se que o hidrômetro ultrassônico registrou um maior consumo em média em relação ao hidrômetro eletromagnético. Desta forma, o Faturamento Adicional (FA) leva em consideração o ganho econômico ocasionado pela utilização do hidrômetro ultrassônico. Conforme informado pela CAJ, P_u apresenta o valor de $8,19 \text{ R\$/m}^3$. Finalmente, a partir da equação 3, o FA calculado foi de $\text{R\$ } 3.945,94$.

Afirma-se então que com base nos dados deste estudo, para a companhia de saneamento, seria possível obter maior vantagem financeira quando se utilizando o hidrômetro ultrassônico ao invés do hidrômetro eletromagnético.

CONCLUSÕES

Como pode-se perceber pelos gráficos de análise de consumo, os dois medidores apresentaram resultados muito semelhantes, ou seja, a performance é satisfatória em ambas as tecnologias, no entanto com vantagem para o medidor ultrassônico.

Logicamente outras características devem ser levadas em consideração para a escolha da tecnologia a ser utilizada, tais como aplicação na micro ou macromedição, características de instalação, suporte técnico, condutividade da água de abastecimento, possibilidade de influência de campo magnético externo, proteção contra descargas atmosféricas, durabilidade do produto, necessidade de verificações metrológicas, projeto de produto, marca, dentre outras, as quais não foram fruto de análise deste trabalho, e que podem aumentar ou minimizar vantagem de uma ou outra tecnologia de medição.

Ademais, outro ponto muito importante a ser levado em consideração são os erros percentuais admissíveis dos medidores (calibração), para possibilitar uma comparação precisa e justa. Ressaltando que os medidores foram devidamente calibrados antes do início do estudo pelos próprios fornecedores encontrando-se dentro do túnel

de erros admissíveis pelas portarias do INMETRO que tratam sobre a matéria. Para um próximo teste, recomenda-se que os artefatos a serem comparados sejam calibrados em uma mesma bancada, o que não foi possível neste caso, pois o medidor ultrassônico já se encontrava instalado em campo, e o eletromagnético teve que ser devolvido ao fornecedor ao término do estudo.

Ainda que a performance resultante do teste realizado tenha apontado vantagem para o ultrassônico, acredita-se que seria leviano afirmar cabalmente que um medidor é melhor que o outro, antes de se realizarem outros ensaios com universo amostral maior, e calibração em laboratório acreditado pelo INMETRO, antes e após o ensaio.

Contudo, ao se considerar a análise de faturamento, bem como a condição de vantagem do ultrassônico apurada neste trabalho, adicionada ao fato do preço unitário do eletromagnético ser em média de 3 a 4 vezes superior ao ultrassônico, pode-se concluir que o uso da tecnologia ultrassônica frente a eletromagnética pode representar ganhos financeiros e redução de custos importantes para as concessionárias de saneamento. O objetivo é possibilitar às companhias escolhas mais assertivas dos medidores, não dispendendo grandes recursos financeiros aonde não se faz necessário, direcionando melhor tais investimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAKER, R. Flow Measurement Handbook. 2º ed. Nova York: Cambridge University Press. 2016.
2. BERREBI, J., MARTINSSON, P., WILLATZEN, M., DELSING, J. Ultrasonic flow metering errors due to pulsating flow. Flow Measurement and Instrumentation, 15(3), pp.179-185. 2004.
3. CARLANDER, C. DELSING, J. Installation effects on an ultrasonic flow meter with implications for self-diagnostics. Flow Measurement and Instrumentation, 11(2), pp.109-122. 2000.
4. COELHO, A. C. Micromedicação em sistemas de abastecimento de água/ Adalberto Cavalcanti Coelho. – João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, pp. 107 - 219. 2009.
5. GAMEIRO, A. G. F. Avaliação de métodos de determinação de consumos de água potável e de dimensionamento de hidrômetro: Estudo de caso em Londrina/PR. Disponível em: <http://www.uel.br/pos/enges/portal/pages/arquivos/dissertacao/34.pdf>. 2007. Acesso em 22 Maio 2020.
6. HEINER, B., BARFUSS, S., JOHNSON, M. Conditional Assessment of Flow Measurement Accuracy. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 137(6), pp.367-374. 2011.
7. DEPEXE, M. D. Estudo de caso para avaliação de viabilidade de uso de hidrômetro ultrassônico para melhoria da micromedicação. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Congresso ABES FENASAN. 2017.
8. MIRANDA, I. S. L., TONIAL, F. C., KURITZA, J. C., MARQUES, M. G. Presença de ar no sistema de abastecimento de água: influências no funcionamento de hidrômetros. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – 20º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves – Rio Grande do Sul, Brasil. 2013.
9. PRETTYMAN, J., JOHNSON, M., BARFUSS, S. Comparison of Selected Differential-Producing, Ultrasonic, and Magnetic Flow Meters. Journal - American Water Works Association, 108, pp.E39-E49. 2016.
10. SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL – SNSA. Ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/publicacoes-acertar/perdas/Vol.4-Perdas-Aparentes.pdf>. 2018. Acesso em 22 Maio 2020.
11. TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas, In: Tsutiya, M. T. Abastecimento de Água, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
12. UNESCO. The United Nations World Water Development Report: Water for People Water for Life. United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization, Nova York. 2013. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000129556>. Acesso em: 07 Abr. 2019.