



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIENCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

GISLANE MENDES DE MORAIS

AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE HIDRÔMETROS UTILIZADOS EM
PERÍMETROS IRRIGADOS DO BRASIL E ESPANHA

FORTALEZA

2019

GISLANE MENDES DE MORAIS

AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE HIDRÔMETROS UTILIZADOS EM PERÍMETROS
IRRIGADOS DO BRASIL E ESPANHA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M825a Morais, Gislane Mendes de.
Avaliação metroológica de hidrômetros utilizados em perímetros irrigados do Brasil e Espanha / Gislane Mendes de Morais. – 2019.
49 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Fortaleza, 2019.

Orientação: Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo.

Coorientação: Prof. Dr. Carmen Virginia Palau Estevan.

1. Hidrometria. 2. Manejo de Irrigação. 3. Erro de Medição. I. Título.

CDD 664

GISLANE MENDES DE MORAIS

AVALIAÇÃO METROLÓGICA DE HIDRÔMETROS UTILIZADOS EM PERÍMETROS
IRRIGADOS DO BRASIL E ESPANHA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e drenagem.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Benito Moreira de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Carmen Virgínia Palau Estevan (Coorientadora)
Universitat Politècnica de València (UPV)

Prof. Dr. Luís Gonzaga Medeiros de Figueredo Junior
Universidade Estadual do Piauí (UESPI)

Profa. Dra. Denise Vieira Vasconcelos
Instituto Federal do Pará (IFPA)

Dr. Guilherme Vieira do Bomfim
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. José Bruno Rego de Mesquita
Faculdade Terra Nordeste (FATENE)

A Deus.

Aos meus pais, Fátima e Hélio.

Ao meu sobrinho, Gabriel.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sua onipresença, e sempre por ter me dado forças para não desistir nos momentos mais difíceis, por ter me agraciado em colocar pessoas tão especiais no meu caminho durante essa jornada.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade da qualificação profissional.

À Universitat Politècnica de València (UPV), na Espanha, por ter me proporcionado abrir caminhos e conhecer uma realidade além das fronteiras durante período de intercâmbio.

Ao professor Benito, pela orientação, auxílio técnico e pela amizade, pois ele faz além do papel de orientador. Por ter me ofertado a oportunidade de atravessar não só fronteiras físicas, mas por ter me proporcionado conhecimentos para vida. Sempre me aconselhando para o bem e puxando a orelha quando necessário também. Serei sempre grata.

À professora Virginia Palau, pela receptividade e carinho durante minha estadia na Espanha, pelo auxílio técnico na condução dos ensaios no laboratório, pela paciência e pelas conversas de apoio.

À Denise Vieira, pelo apoio, amizade e companheirismo desde os tempos de graduação, pelos conselhos profissionais e pessoais, pelas conversas e por sempre me incentivar positivamente a continuar nesse caminho.

Ao Guilherme Bomfim, pela disponibilidade e paciência, pela ajuda e empenho na elaboração deste trabalho e, principalmente, pela amizade.

Ao Luís Figueredo, pela disposição na ajuda técnica e sugestões desse trabalho.

À Krishna Ribeiro, pela disponibilidade e ajuda, pelos papos descontraídos e pelo incentivo.

Aos amigos de doutorado, Abelardo e Márcio Davy, pela amizade desde os tempos de graduação e por tornar a estação agrometeorológica mais animada.

Ao amigo, Jaime Ferré, por me fazer parte da sua família durante a estadia na Espanha, foi muito bom reencontrar o amigo para falar em português, quando meu cérebro não processava mais o castelhano.

A minha grande amiga, Arlene Santisteban, pela parceria, aconselhamentos e por sempre me incentivar nos momentos mais difíceis.

A minha querida amiga, Ingrid Maiara, pela sua presença, sempre estando por perto e disposta a me ajudar, ouvindo minhas angústias e dividindo os momentos alegres.

Ao meu irmão, Wesley, a minha cunhada, Cinthia e, em especial, ao meu sobrinho, Gabriel, que mesmo distantes fisicamente, sempre estiveram perto, me dando força e coragem.

Por fim e em especial, aos meus pais, por nunca desistirem de mim e serem meus maiores incentivadores durante toda minha trajetória profissional e na vida.

RESUMO

A posição de instalação é um dos fatores que podem afetar o desempenho metrológico de hidrômetros velocimétricos multijatos, pela possibilidade de reduzir a precisão e a vida útil dos equipamentos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de três posições de instalação (horizontal, horizontal girado e vertical) sobre a curva de erro de hidrômetros velocimétricos multijatos utilizados em perímetros irrigados do Brasil e da Espanha. Foram selecionados para os ensaios oito hidrômetros de fabricação espanhola e dois hidrômetros de fabricação brasileira, com diferentes tempos de uso. Os ensaios de bancada foram conduzidos no *Laboratório de Hidráulica y Riegos (LHIR)* da *Universitat Politècnica de València (UPV)*, Valência, Espanha, conforme as normas técnicas da Organização Internacional de Normalização (ISO 4064). Foram confeccionadas, nas três posições de instalação, duas curvas de erro para cada equipamento, a partir dos erros de medição estimados com vazões crescentes e decrescentes. O erro de medição foi calculado pela comparação entre o volume medido pelo hidrômetro e o volume de referência, obtido por meio de um tanque de pesagem. Foram considerados aceitáveis os erros de medição com limite máximo de $\pm 2\%$ entre as vazões mínima e de transição e de $\pm 5\%$ entre as vazões de transição e a máxima. De acordo com os resultados, a posição horizontal foi a que menos afetou negativamente a precisão da maioria dos hidrômetros. As posições horizontal girado e, principalmente, vertical, provocaram na maioria dos hidrômetros erros de medição que ultrapassaram os limites recomendados pelas normas técnicas. Nessas posições, um dos hidrômetros com tempo de uso elevado não registrou o consumo de água em vazões elevadas. A conclusão do estudo é que a posição de instalação horizontal, comparada às posições horizontal girado e vertical, é a que proporciona os menores erros de medição e a que mais os mantém dentro dos limites aceitáveis. Ademais, essa posição de instalação pode reduzir o desgaste prematuro das peças móveis e, com isso, aumentar a durabilidade dos equipamentos. Vale ressaltar que a utilização de hidrômetros operando com precisão aceitável durante um período prolongado pode beneficiar consumidores, empresas de abastecimento e ambiente, pela redução de custos e preservação de recursos hídricos.

Palavras-chave: Hidrometria. Manejo de irrigação. Erro de medição.

ABSTRACT

The installation position of multi-jet velocimetric water meters is one of the factors that can interfere with its metrological performance, with the possibility of decreasing the sensitivity of its mobile mechanisms, and thus, under-measurement and over-measurement errors can occur. Thus, the present work aimed to study and evaluate the installation positioning of the flow measurement equipment, that is, to test through bench tests in the laboratory, the functioning of the hydrometers used in different installation positions: horizontal, horizontal rotated and vertical, and observe if the positioning can generate a difference in the final flow. The tests were carried out on water meters used in irrigated perimeters in the state of Ceará in comparison with those of communities in Spain. The tests carried out for the bench tests were conducted at the Hydraulic and Irrigation Laboratory of the Polytechnic University of Valencia (UPV), located in the city of Valencia, Spain. The laboratory has adequate structure and equipment to carry out the tests. It is part of the certification and standardization committee for irrigation material and hydraulic installations and has technical approval of European Union (UNE) standards. The test consisted of testing the hydrometers in three different positions (horizontal, horizontal, rotated and vertical) and checking if their operation was within the limits of error acceptable by the technical standards established by ISO 4064. The test procedure of the hydrometers was based on the circulation of water upstream and downstream of the hydrometer, causing the water to circulate throughout the pipeline, crossing the hydrometer and recording the volume on the meter clock until it flows into the weighing tank, for the receipt of water and registration of its mass. Reaching, with that, the data necessary to calculate the measurement error. The maximum tolerance of the acceptable measurement error is the error to be within the limits of $\pm 5\%$ between the minimum flow (Q_{min}) and the transition flow (Q_t), where these limits comprise the lower measurement field and $\pm 2\%$ between the transition flow (Q_t) and the maximum flow (Q_{max}), comprising the upper measurement field (ISO 4064). The metrology of the hydrometers, knowing the quality of the equipment, the conditions of installation and operation are of fundamental importance for a decision on water management in the agriculture sector. This, the most suitable and recommended installation position for a better performance of multi-jet velocimetric water meters was in the horizontal installation position, that is, with the turbine axis in the vertical position. Another factor observed in the operation of this equipment was its age, where it is related to its time of use. The time of use of the hydrometer can be observed through its accumulated volume and the hydrometers that presented a greater accumulated volume also had an influence on the proper functioning of its mechanisms.

Keywords: Hydrometry. Irrigation management. Measurement error.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	Aspectos Gerais	11
2.2	Perímetros irrigados.....	12
2.3	Gestão e medição da água.....	14
2.4	Hidrômetros	16
2.4.1	<i>Tipos e princípios de funcionamento</i>	<i>16</i>
2.4.2	<i>Vazões e classes metrológicas</i>	<i>18</i>
2.4.3	<i>Erros de medição</i>	<i>20</i>
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Localização e descrição do laboratório.....	21
3.2	Descrição e instalação dos hidrômetros.....	22
3.3	Ensaio dos hidrômetros.....	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5	CONCLUSÕES.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que sempre teve um papel chave na história do desenvolvimento das civilizações. Sua escassez é um problema que vem crescendo cada vez mais, devido à variabilidade sazonal e espacial associado às mudanças climáticas que atinge todo o planeta.

Reconhecendo o problema da escassez de chuvas na região do semiárido cearense, a construção de açudes e redes de gerenciamento dos mesmos, como os perímetros irrigados, foi fundamental para melhoria nas condições de vida da população e no desenvolvimento das cadeias produtivas da região. Assim, a conservação e a utilização racional da água são essenciais para evitar o seu esgotamento. A adequada gestão da demanda e consumo da mesma é necessária para combater o seu desperdício.

As inovações tecnológicas de armazenamento e transporte deste recurso natural, desde os pontos de coleta até o consumidor, têm acontecido continuamente, sempre para assegurar a sua disponibilidade para o consumo humano, uso agrícola e industrial. A racionalização do seu uso é um fator decisivo para sua medição. Dessa forma, a medição de água é um aspecto fundamental na sua gestão e distribuição até o consumidor final.

Consequentemente, é importante saber o grau de confiabilidade dos instrumentos utilizados e a ordem de grandeza da incerteza nas medições que eles fornecem. Este último ponto deve ser uma preocupação constante, uma vez que a qualidade das medições depende não só da qualidade do instrumento, mas também das condições de instalação e operação. O dimensionamento e a posição de instalação (horizontal, vertical, etc.) do medidor de água é um fator relevante, pois pode gerar ou aumentar os erros na medição de vazão (submedição e sobremedição), ocasionando alteração no resultado de mensuração e registro do mesmo. Em vista disso, é importante estudar as tecnologias de testes metrológicos utilizadas na Espanha, adaptando-as às condições do Ceará.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo estudar e avaliar o posicionamento de instalação de equipamentos de medição da vazão, ou seja, testar, através de ensaios em bancada de laboratório, o funcionamento de hidrômetros em posições de instalação comumente utilizadas em perímetros irrigados do Brasil e da Espanha.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos Gerais

A água é um recurso finito e primordial para a existência da vida no planeta Terra, e sua relação com o homem é algo que vem sendo discutido em todos os setores. O crescimento populacional contínuo, a expansão das fronteiras agrícola, degradação do meio ambiente, ocasionando alteração nas mudanças climáticas são fatores que vêm, cada vez mais, aumentando sua demanda e provocando sua diminuição gradativa.

A escassez da água não é uma particularidade exclusiva da região árida e semiárida, é um problema real em vários lugares no mundo. O tema do seu uso racional vem sendo cada vez mais comum em debates entre autoridades políticas, universidades, organizações não governamentais, pois, a cada dia, há uma maior necessidade de água e menos recursos disponíveis e com menor qualidade desejada. A diminuição da sua disponibilidade, além de afetar o meio ambiente, interfere no desenvolvimento econômico das nações. A instabilidade entre oferta e demanda está aumentando cada vez mais, tornando necessárias novas soluções que tratam desse desequilíbrio.

A adequada gestão da demanda e consumo da água constitui em um importante aliado no combate ao desperdício. A racionalização do seu uso é um fator decisivo para sua medição. O interesse em medir o fluxo de água em sistemas de distribuição vem dos antigos habitantes do Tigre e do Eufrates, cerca de 5.000 a.C., que necessitavam medir a água necessária para distribuir de forma justa para cada uma das comunidades que povoavam aquelas terras. Estudar o funcionamento do sistema de distribuição de água, como e quanto circula, sempre foi uma grande preocupação no campo da hidráulica. Assim, estudos têm enfatizado a necessidade do uso eficiente dos recursos hídricos, tanto na sua distribuição como na sua medição, principalmente no setor da agricultura.

Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), a agricultura é o setor que mais demanda desse recurso natural, correspondendo a 70% da água consumida no planeta; seguido do setor industrial, que utiliza cerca de 22% e, por fim, as atividades domésticas, que correspondem a 8%.

A área irrigada no Brasil cresceu muito nos últimos anos, segundo dados da Agência Nacional de Águas - ANA (ANA, 2017). Na década de 1960, a área irrigada era de 462 mil hectares, na década de 1990, essa área ultrapassou os 3 milhões de hectares e em 2015, atingiu 6,95 milhões de hectares. Diante disso, o país deve investir na gestão de manejo adequado da

água, estimulando o uso de sistemas de irrigação mais eficientes, pois o manejo da irrigação aplicado de forma apropriada levará a resultados positivos para manutenção deste recurso natural. Apesar do consumo de água ser maior na irrigação, ainda é a maneira mais eficiente de aumentar a produção de alimentos.

2.2 Perímetros irrigados

O Brasil está entre os 10 países com a maior área equipada para irrigação no mundo, segundo dados da FAO (2017). A demanda pelo uso da água no Brasil é crescente e estudos apontam que ocorreu um aumento de aproximadamente 80% da retirada de água nas duas últimas décadas. Até 2030, essa retirada poderá aumentar para 24% (ANA, 2018). O desenvolvimento econômico e o crescimento urbano estão diretamente associados à evolução do uso da água. Em termos de quantidade utilizada, o principal uso da água no Brasil é a irrigação (52%), abastecimento humano (23,8%) e indústria (9,1%). Da retirada total de água, soma-se 85% (ANA, 2018).

A região semiárida do Brasil, representada pela região Nordeste, caracteriza-se por precipitações irregulares. O regime de chuvas concentra-se em quatro meses (fevereiro a maio), também ocorrendo uma grande variabilidade interanual. As fortes secas que caracterizam a região sempre moldaram o comportamento das populações e foram preponderantes para a formulação de políticas públicas regionais.

Os governos federais e estaduais brasileiros têm criado programas para atender a demanda de recursos e tecnologias para agricultura irrigada, como a implantação de infraestrutura hidráulica, contemplando, entre outros, o desenvolvimento da agroindústria, visando o uso e manejo adequado da água para os sistemas agrícolas irrigados.

Sendo assim, a irrigação é para o Nordeste um importante instrumento de desenvolvimento, permitindo o suprimento de água ocasionada pelo seu regime de chuvas escassas e irregular, e conseqüentemente, pela sua capacidade de gerar renda, emprego estável, divisas e ampliar ofertas de alimentos (FRANÇA, 2001). Devido à necessidade de uma organização no armazenamento e distribuição dessa água, os perímetros irrigados foram e continuam sendo instalados na região, alguns, inclusive, voltados para a exportação de produtos agrícolas.

Na região Nordeste do Brasil, as políticas agrícolas atuam desde muito tempo, quando D. Pedro II deu ordem de construção do Açude do Cedro (sua construção foi de 1890 a 1906), esta foi uma das primeiras obras de combate à seca pelo governo brasileiro. Desde então,

muitos incentivos à agricultura irrigada na região foram implementados. Em meados de 1960, deu-se início a instalação dos perímetros irrigados.

Os perímetros irrigados são projetos públicos de irrigação construídos em parceria com o governo, com uma infraestrutura de irrigação para produzir, pagando pela terra e pela infraestrutura do uso da água. Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), a área da agricultura irrigada no Brasil aumentou de 2,3% para 8,3%, de 1970 a 2012, e muito se deve a esses incentivos públicos, como o perímetro irrigado.

O primeiro perímetro implantado no estado do Ceará foi realizado pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), foi o de Morada Nova, em 1968. Até 2014, o DNOCS contabilizou 14 perímetros irrigados no Estado do Ceará: Araras Norte, Ayres de Souza, Baixo Acaraú, Curu-Paraipaba, Curu-Pentecoste, Ema, Forquilha, Icó-Lima Campos, Jaguaribe-Apodi, Jaguaruana, Morada Nova, Quixabinha, Tabuleiro de Russas e Várzea do Boi. O perímetro irrigado com maior produção de frutas frescas e maior retorno econômico, correspondendo a 9,1% da produção do Estado do Ceará em 2008, foi o de Tabuleiro de Russa (DNOCS 2010). Isso mostra a importância dos perímetros irrigados para região.

Os fornecimentos de água nos perímetros irrigados geralmente são feitos por um sistema de canais (Figura 1) primários e secundários, com estruturas de controle de vazão, o qual é abastecido por um reservatório ou uma unidade de bombeamento.

Figura 1 – Canal da Integração situado na cidade de Jaguaribara, Ceará.



A operação dos sistemas coletivos e o dimensionamento dos canais visam proporcionar às áreas irrigadas as quantidades de água solicitadas no momento necessário. Esses canais têm como objetivo transportar os recursos hídricos entre bacias, proporcionando o uso múltiplo da água. A ligação entre as bacias hidrográficas é um dos objetivos da gestão dos recursos hídricos do Ceará. A eficiência no abastecimento da água de irrigação, no momento apropriado, representa uma das principais metas das companhias que administram os perímetros irrigados.

Contudo, na região semiárida, onde a água é um fator escasso e no momento em que se necessita do uso da irrigação para uma boa produtividade no setor agrícola, faz-se necessário a realização de mais estudos e divulgação dos mesmos, com o intuito de contribuir para a melhoria do aproveitamento e para o uso mais eficiente dos recursos hídricos.

Instituições de pesquisas e universidades, em parceria com o setor público, vêm buscando tecnologias apropriadas, com menores impactos ambientais, na elaboração de mecanismos que favoreçam o uso adequado e agreguem valores aos recursos hídricos disponíveis.

2.3 Gestão e medição da água

O Brasil detém 12% da água doce superficial do planeta, porém sua distribuição no território brasileiro é de forma heterogênea. Assim, o Brasil possui uma grande responsabilidade, a de não se isentar do comprometimento de produzir com consciência, dentro dos princípios de conservação e sustentabilidade, à importância do manejo adequado deste recurso natural. Pois, apesar da sua abundância no território brasileiro, a água é um recurso natural esgotável.

A partir de 1997, o Brasil sancionou a Lei Federal nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). A lei das Águas, como ficou conhecida, mudou os padrões dos recursos hídricos, tornando a água uma das prioridades das políticas públicas nacionais (BRASIL, 1997).

A Agência Nacional de Águas (ANA) tem como finalidade implementar a Política Nacional do Recursos Hídricos e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em conjunto com os comitês de bacias, a ANA atua na outorga do direito do uso da

água e na execução da cobrança do uso da água da União, arrecadando, dividindo e empregando os recursos lucrados.

Para que os objetivos da PNRH sejam atingidas, a Lei estabeleceu cinco instrumentos: i - os planos de recursos hídricos; ii - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; iii - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; iv - a cobrança pelo uso de recursos hídricos; v - o sistema de informações sobre recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A lei das águas estabelece que aquele que se beneficiar da água com objetivo de atividade econômica, gerando algum impacto na quantidade e qualidade da água, deve adquirir a autorização do seu uso, ou seja, a outorga de direito do uso da água. Além da autorização, poderá ser cobrado um valor pelo seu uso. Esse valor não deve ser considerado como imposto ou consumo da água, e sim, como um serviço pelo seu fornecimento, ou seja, uma retribuição pela utilização de um bem público. A ANA realiza a cobrança apenas em água de domínio da União. A água para uso urbano e residencial é de competência do governo do Estado.

Segundo a lei das Águas, a cobrança pelo uso de recursos hídricos, objetiva: i - reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; ii - incentivar a racionalização do uso da água; iii - obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Para um bom e eficiente gerenciamento do uso da água na agricultura irrigada, já que a mesma possui a maior demanda do recurso natural, é importante a existência de medição desta água utilizada. A medição adequada dos volumes de água, demandada pela cultura e pelo tipo de solo, constitui um importante aliado no combate ao desperdício, pois permite planejar e averiguar os reais volumes utilizados e contabilizados pelos medidores.

Atualmente, existem poucos interesses nos procedimentos previstos para a seleção, instalação, testes e calibração de instrumentos de medição da vazão da água no uso agrícola.

Os medidores de vazão (hidrômetros) instalados nos sistemas de irrigação são abandonados e sua manutenção e verificação metrológica são praticamente inexistentes. Esse fato provoca a imprecisão das medições feitas por esses instrumentos e a ineficiência das técnicas de instalações implementadas. Segundo estudos conduzidos por Gomes (2002), é necessário um adequado programa de manutenção preventiva e corretiva dos hidrômetros e seu controle metrológico por meio de calibrações e verificações frequentes e programadas. Assim, pode-se garantir a confiabilidade da medição, sendo esta, uma ação considerável para o controle de perdas e cobranças adequadas.

Pesquisas onde se propõe estudar a medição dos processos de irrigação em perímetros irrigados, embora de grande importância para o gerenciamento dos recursos hídricos, ainda são pouco divulgadas no Brasil. A maioria dos estudos e divulgação dessas pesquisas são provenientes de países desenvolvidos.

2.4 Hidrômetros

Segundo o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), o hidrômetro é um instrumento destinado a indicar e totalizar continuamente o volume de água que o atravessa. No Brasil, o INMETRO e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são responsáveis pela confiabilidade da medição de água que é fornecida à população.

O hidrômetro, além de medir a água consumida, é uma ferramenta utilizada para monitorar o seu consumo. Seu funcionamento adequado é de grande importância para o controle de perdas, redução do desperdício, administração do faturamento e controle da estimativa do consumo de água.

2.4.1 Tipos e princípios de funcionamento

Os hidrômetros são classificados de acordo com seu princípio de funcionamento e capacidade de medição ou classe metrológica. Em relação ao princípio de funcionamento, eles podem ser classificados como: volumétrico ou velocimétrico, também conhecidos como de velocidade ou taquimétrico.

Os hidrômetros volumétricos são mais precisos que os velocimétricos. A eficiência do seu funcionamento em baixas vazões é uma das suas características mais importantes. Esse tipo de hidrômetro possui uma câmara (êmbolo) de volume conhecido, onde seu funcionamento baseia-se no processo contínuo de passagem da água, de enchimento e esvaziamento dessa câmara. Esse movimento do transporte da água dá-se pela diferença de pressão, maior na entrada e menor na saída do aparelho. O êmbolo executa uma ação circular em torno do próprio eixo, que aciona o totalizador e registra a passagem da água.

Entretanto, sua forma construtiva faz com que sejam mais sujeitos a defeitos de funcionamento. Esses hidrômetros não são utilizados no Brasil na medição convencional de água, pois seu preço é muito alto e seu mecanismo trava facilmente a qualquer elemento ou

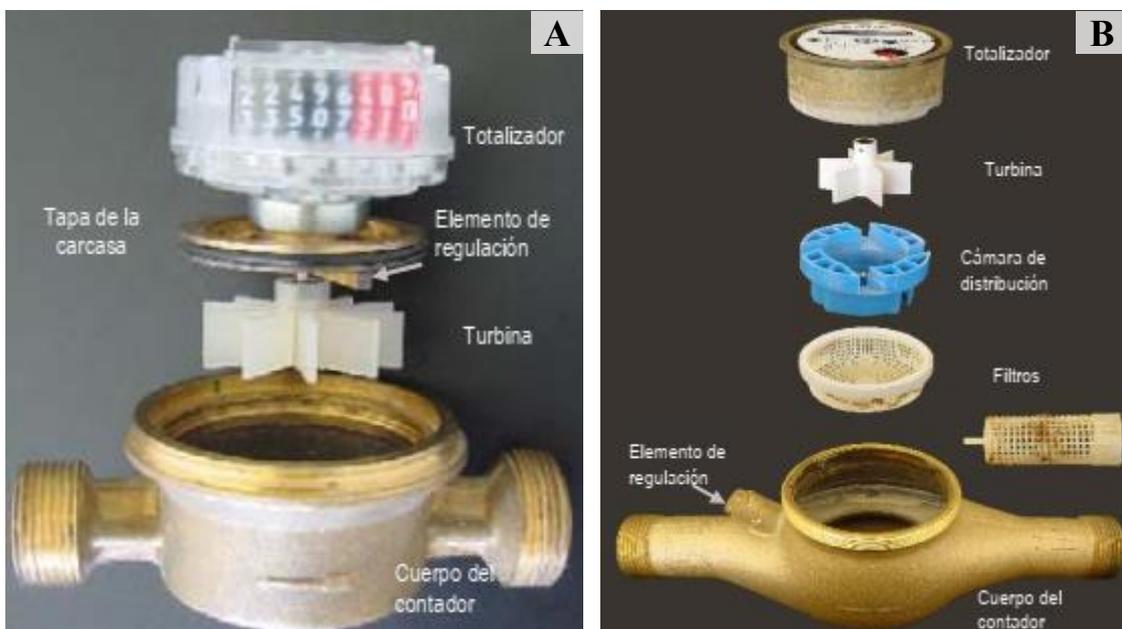
partícula que se armazene em suas câmaras. Dessa forma, o fluxo de água cessa, deixando o consumidor sem água.

O hidrômetro velocimétrico é um instrumento instalado em um conduto fechado, que consiste de um elemento móvel acionado diretamente pela velocidade do fluxo da água, cujo movimento é transmitido por meios mecânicos ou magnéticos, ao dispositivo indicador que totaliza o volume. A parte móvel do hidrômetro pode ser uma turbina, hélice ou palheta. Esse hidrômetro pode ser do tipo monojato, multijato ou Woltman.

O hidrômetro monojato é um medidor velocimétrico onde o mecanismo de medição é acionado pela incidência de um único jato tangencial de água sobre o componente móvel, e o multijato é acionado pela incidência de vários jatos tangenciais de água (Figura 2).

O movimento da água pelo hidrômetro faz o mecanismo móvel girar em uma velocidade proporcional a vazão, onde a quantidade de voltas dessa engrenagem corresponde à velocidade da passagem da água, apresentando no relógio do medidor o volume que foi escoado.

Figura 2 – Peças de um hidrômetro velocimétrico monojato (A) e multijato (B).



Fonte: Palau (2005).

A diferença de desempenho do hidrômetro multijato, em relação ao monojato, é como a água afeta a turbina. Nos hidrômetros multijatos, a água atinge o elemento rotativo em toda a periferia da câmara. Dessa forma, realizam uma operação mais equilibrada da turbina e apresentam maior durabilidade (PALAU, 2005).

Os hidrômetros multijatos são mais utilizados em sistemas de irrigação, por ser um instrumento mais robusto do que o monojato. Os diâmetros nominais variam de 15 a 50 mm de diâmetro, ou seja, suportam uma vazão nominal (Q_n) de até 2,5 a 25 m³ h⁻¹. Estes são os mais utilizados no Brasil, na região Ibero-América e alguns países da Europa. Atualmente, a *American Water Works Association* possui uma normativa específica para este tipo de hidrômetro.

O hidrômetro tipo Woltman é um equipamento de medição da água de maior calibre e normalmente são utilizados em instalações de água onde a vazão que circula é bem elevada. Os calibres variam normalmente de 50 a 500 mm, mas podem chegar, com algumas exceções, até 800 mm. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao dos hidrômetros velocimétricos citados anteriormente, onde o fluxo de água atinge uma hélice na direção axial. Existem três tipos de hidrômetros Woltman, dependendo das suas características construtivas e do eixo de rotação da turbina: eixo horizontal, eixo vertical e em cotovelo.

2.4.2 Vazões e classes metrológicas

O conceito de vazão consiste no quociente entre o volume de água que atravessa o medidor e o tempo de passagem deste volume, expresso em metros cúbicos por hora (m³ h⁻¹). As vazões utilizadas para caracterização dos hidrômetros são definidas pela normativa da *International Organization for Standardization* (ISO 4064:2014), e são assim estabelecidas:

a) Vazão mínima (Q_{\min} ou Q1) – a menor vazão que o medidor deve registrar, sem que os erros sejam maiores que o máximo definido.

b) Vazão nominal (Q_n ou Q3) – também conhecida como vazão permanente, é a vazão que o medidor pode funcionar de forma satisfatória, sob condições normais de uso, é usado para designar o medidor e é a metade da vazão máxima.

c) Vazão de transição (Q_t ou Q2) – é a vazão entre o mínimo e o nominal que divide o intervalo de fluxo em duas áreas com diferente margem de precisão.

d) Vazão máxima (Q_{\max} ou Q_4) – é a maior vazão que o hidrômetro pode trabalhar em um curto período de tempo, dentro dos seus erros admissíveis e mantendo seu desempenho metrológico.

Outro parâmetro utilizado para a caracterização dos hidrômetros é a classe metrológica. Segundo a ISO 4064:1993, ela é dividida em A, B, C e D, porém, as normativas europeias UNE EN 14154-3 e EN 14268 e a normativa brasileira ABNT NBR NM 212, são correspondentes e estabelecem apenas as classes A, B e C, que são as mais utilizadas e comercializadas. Em 2018 a Associação Espanhola de Normalização, aprovou a última revisão da ISO 4064-1:2014, apesar disso a versão mais importante é a de 1993 pois esta estabelece as bases para os medidores de água quente e fria. Assim os hidrômetros testados foram certificados e seguem a norma da ISSO 4064:1993.

As normativas também estabelecem que as classes metrológicas sejam diferenciadas de acordo com as vazões mínima e de transição, em função da vazão nominal (Figura 3).

Figura 3 – Classes metrológicas correspondentes aos valores de vazão nominal.

Classe Metrológica		Vazão nominal (Q_n)									
		0,6	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0
		----- $m^3 h^{-1}$ -----									
A	Q_{\min}	0,024	0,030	0,040	0,040	0,100	0,140	0,200	0,240	0,400	0,600
	Q_t	0,060	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,500	0,600	1,000	1,500
B	Q_{\min}	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,100	0,120	0,200	0,300
	Q_t	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,400	0,480	0,800	1,200
C	Q_{\min}	0,006	0,0075	0,001	0,015	0,025	0,035	0,050	0,060	0,100	0,150
	Q_t	0,009	0,011	0,015	0,0225	0,0375	0,0525	0,075	0,090	0,150	0,225

Fonte: adaptado da ISO 4064 (1993).

A classe metrológica A está praticamente em desuso, porém, ainda pode ser encontrando na área agrícola, em alguns sistemas de irrigação, devido seu baixo custo. Ela tem a menor amplitude na faixa de vazão de trabalho, o que faz essa classe ser menos precisa a baixas vazões.

A classe metrológica B é a mais utilizada atualmente, devido ao seu custo-benefício, tanto em sistemas de irrigação como em sistemas de abastecimento urbano. Os fabricantes tentam produzir equipamentos mais precisos ao mercado e a um custo acessível.

Os hidrômetros de classe metrológica C são os mais precisos, pela sua configuração de construção e material, apresentando pouca resistência às forças de atrito nas partes móveis do hidrômetro, o que permite maior sensibilidade a baixas vazões.

2.4.3 Erros de medição

Os hidrômetros, assim como outras estruturas hidráulicas, certamente irão apresentar alguma alteração no resultado final, quando comparado com o real, ou seja, todos os equipamentos utilizados para medição de vazão apresentam erros, que poderão ser maiores ou menores, de acordo com a tecnologia empregada. Esses erros, conhecidos como sobremedição e submedição, indicam se o erro é maior ou menor que o valor medido da vazão, respectivamente.

Vários fatores podem prejudicar a exatidão de funcionamento dos hidrômetros: dentre eles podemos destacar: princípio de funcionamento, qualidade da água (presença de sólidos em suspensão ou depositado), uso de caixas d'água controladas por boias (que podem gerar baixas vazões) e posição de instalação. O posicionamento de instalação do hidrômetro é causa de erro na medição da vazão. Uma leve inclinação no hidrômetro para facilitar a leitura do mostrador pode gerar uma sensível queda na sua precisão, podendo ocasionar submedição ou acelerar seu desgaste quando comparado a um equipamento que foi instalado na forma adequada.

Para que os erros estejam dentro dos limites confiáveis, são estabelecidas normas técnicas definindo as faixas admissíveis. Essas normas são estabelecidas pela ISO, e são adaptadas dentro de cada país e região, pelas instituições responsáveis. Para isso, a ISO estabeleceu que os limites do erro médio devem ser: no campo inferior de medição, de $\pm 5\%$ e, no campo superior, de $\pm 2\%$. O campo inferior inclui os erros de medição entre a vazão mínima (Q_{\min} ou Q1) e a vazão de transição (Q_t ou Q2), e o campo superior, os erros de medição entre a vazão de transição (Q_t ou Q2) e a vazão máxima ou de sobrecarga (Q_{\max} ou Q4).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição do laboratório

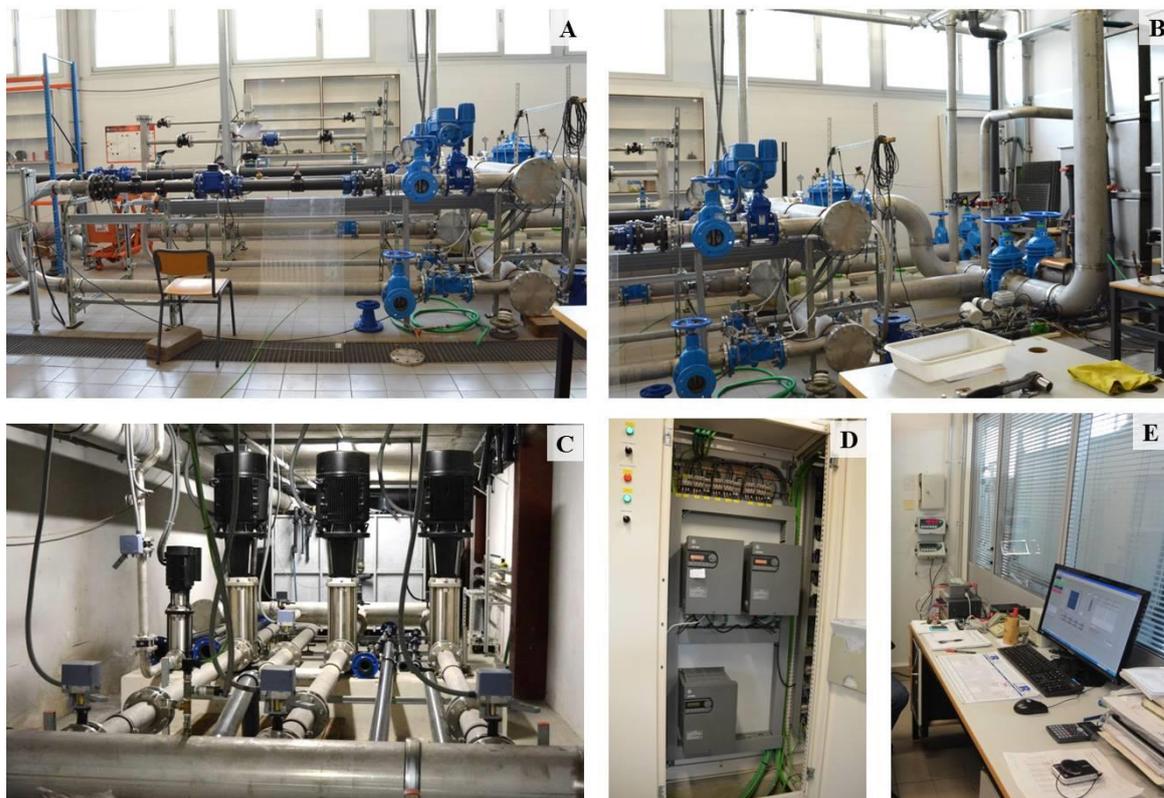
Os ensaios para os testes de vazão dos hidrômetros foram conduzidos no Laboratório de *Hidráulica y Riegos* (LHIR) do Departamento de *Ingeniería Rural y Agroalimentaria* (DIRA) da *Universitat Politècnica de València* (UPV), situado na cidade de Valência, Espanha (Latitude: 39° 28' N; Longitude: 0° 22' O; Altitude: 11 m).

O laboratório de *Ingeniería Rural* da UPV possui uma bancada de ensaio para realização de testes e medições hidráulicas (Figura 4), que permite conduzir ensaios de diversos equipamentos hidráulicos (peças, conexões e tubulações) com diâmetro nominal (DN) de 20 a 250 mm, bem como ensaios automatizados e padronizados com válvulas hidráulicas, hidrantes de irrigação e hidrômetros velocimétricos multijatos, que é o tipo de hidrômetro utilizado neste estudo.

O laboratório dispõe dos seguintes recursos: depósito de aspiração de 15.000 L; três bombas centrífugas verticais Grundfos CRN 64 a 5 Hm, com pressão máxima de funcionamento de 16 bar e vazão de $67 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, que são acionadas por inversores de frequência eletrônicos; tubulação de aço inoxidável ASTM A312 TP304/304L de 10", 8", 4", 2" e 1"; dezesseis sensores de pressão com alcance de 0 a 6 , 0 a 10 e 0 a 16 bar, disponíveis em outras faixas de 1 a 25 bar; sensores de pressão diferencial Endress + Hauser; válvulas de gaveta do tipo HAWLE, para isolamento e controle de vazão em tubulações com DN de 250, 200, 100 e 50 mm; válvulas hidráulicas HAWIDO com DN de 250, 100, 50 e 40 mm, que permitem o acionamento eletrônico e a indicação de posição para regulagem e controle do teste de bancada; tanque de pesagem com células de carga de 500 a 5.000 kg; tanque de nível constante de 2.000 L a 20 m de altura, que permite testes de precisão a baixa pressão; controle e registro de dados automatizados através de hardware NI, controlado pelo programa de *datalogger LabView 2010*.

O laboratório possui comprovação técnica de normas da União Europeia (UNE) e faz parte do comitê de certificação e normatização de material de irrigação e instalações hidráulicas, além de possuir estrutura adequada para a caracterização técnica e calibração de diversos elementos hidráulicos com equipamentos de alta capacidade e precisão.

Figura 4 – Vista geral do laboratório de *Hidráulica y Riegos* (LHIR) da UPV (A e B); bombas centrífugas verticais (C); e sala de controle (D e E). Valência, Espanha, 2016.



3.2 Descrição e instalação dos hidrômetros

No presente trabalho, foram avaliados dez hidrômetros do tipo velocimétricos multijatos em três posições de instalações: horizontal, horizontal girado e vertical (Figura 5). Na Tabela 1, constam os diâmetros correspondentes, as vazões mínima, de transição, nominal e máxima de cada hidrômetro, além do volume acumulado registrado nos mostradores dos hidrômetros e das posições de instalação indicadas por cada fabricante.

Foram utilizados dois hidrômetros de origem brasileira e oito hidrômetros de origem espanhola. Os hidrômetros brasileiros (hidrômetro “A” e “C”) foram adquiridos nos perímetros irrigados do Ceará, por meio de doação. Os hidrômetros espanhóis (hidrômetros “B”, “D”, “E”, “F”, “G”, “H”, “I” e “J”) foram cedidos pelo Laboratório de *Hidráulica y Riegos* da UPV.

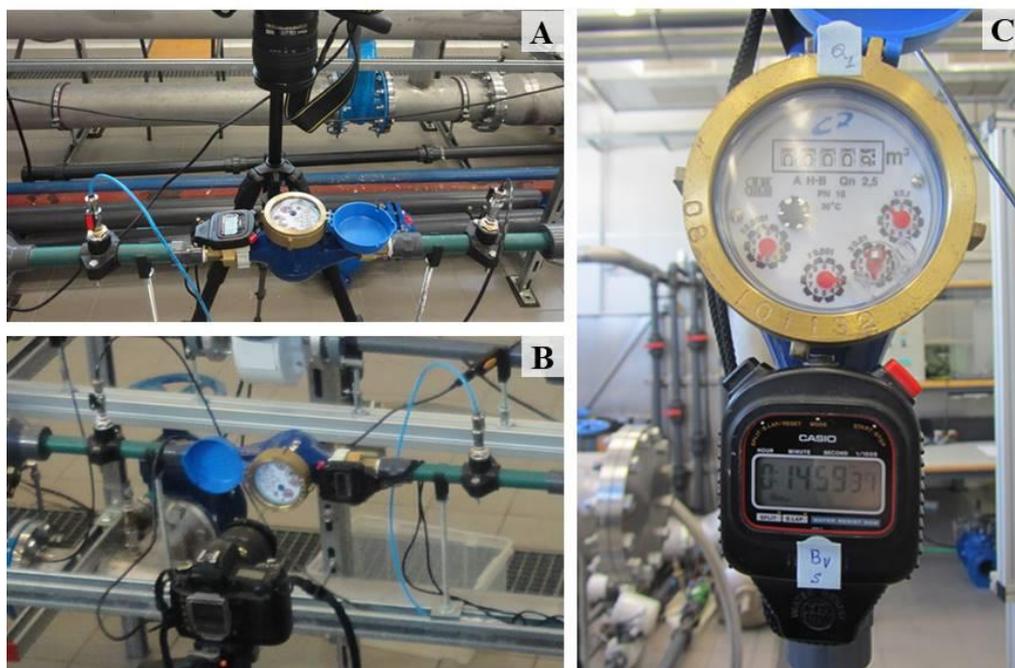
Os hidrômetros de “A” a “I” possuem sistema de transmissão mecânica e classe metrológica B, enquanto o hidrômtero “J” apresenta sistema de transmissão magnético e classe metrológica C (Figura 3).

Tabela 1 – Descrição metrológica dos hidrômetros testados

Hidrômetro	Diâmetro (mm)	Vazão					V _{acum} (m ³)	Posição
		Q _{min} (m ³ h ⁻¹)	Q _t (m ³ h ⁻¹)	Q _n (m ³ h ⁻¹)	Q _{max} (m ³ h ⁻¹)			
A	20	0,03	0,12	1,5	3,0	26,7	H, V e I	
B	20	0,05	0,20	2,5	5,0	3,0	H	
C	20	0,03	0,12	1,5	3,0	28,9	H	
D	20	0,05	0,20	2,5	5,0	843,5	H	
E	32	0,12	0,48	6,0	12,0	156,2	H	
F	32	0,12	0,48	6,0	12,0	1,0	H	
G	32	0,12	0,48	6,0	12,0	1764,2	H	
H	32	0,12	0,48	6,0	12,0	11,0	não informa	
I	40	0,20	0,80	10,0	20,0	12,6	H	
J	40	0,10	0,80	10,0	20,0	17,0	H e V	

Q_{min}: Vazão mínima; Q_t: Vazão de transição; Q_n: Vazão nominal; Q_{max}: Vazão máxima; V_{acum}: Volume acumulado registrado no hidrômetro; Posição: Posição de instalação indicada na relojoaria do hidrômetro.

Figura 5 – Hidrômetros nas posições de instalação: horizontal (A); horizontal girado (B); e vertical (C). Valência, Espanha, 2016.

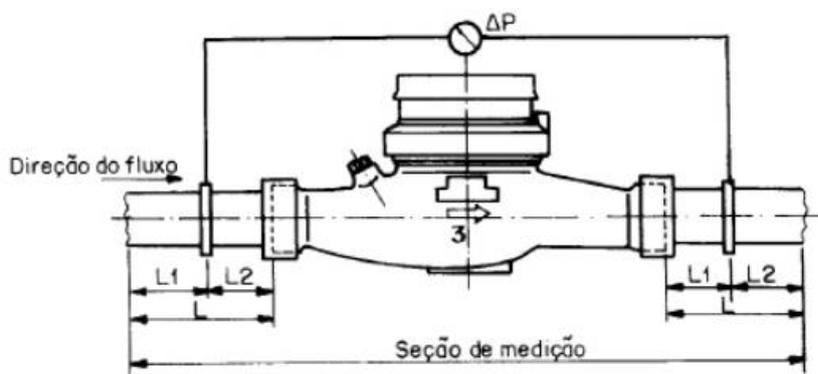


Para a avaliação metrológica dos hidrômetros, foram atendidas as seguintes condições básicas de funcionamento: temperatura ambiente (T_{amb}): $0,1\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_{amb} < 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; temperatura da água (T): $0,1\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; faixa de vazão (Q): Q_1 (vazão mínima) $< Q < Q_8$ (vazão máxima). Na vazão máxima (Q_{max}), ocorreu o bloqueio de alguns hidrômetros, ou seja, o volume de água indicado no relógio medidor parou de ser registrado e a água continuou circulando pelo sistema de distribuição.

Os hidrômetros foram instalados conforme a Figura 6, obedecendo à relação $L \geq 15D$, onde, $L_1 \geq 10D$ e $L_2 \geq 5D$, no qual, L_1 e L_2 foram, respectivamente, os comprimentos dos trechos da tubulação a montante e a jusante dos pontos extremos de tomadas de pressão na seção de medição e D foi o diâmetro da tubulação. As tubulações à montante e à jusante do hidrômetro tiveram o mesmo diâmetro interno de suas conexões. Todas essas medidas foram aplicadas para os ensaios metrológicos dos hidrômetros, considerando suas características intrínsecas e as três posições de instalação ensaiadas: horizontal, horizontal girado e vertical.

As condições básicas para o funcionamento e instalação dos hidrômetros foram baseadas nas normativas europeias UNE EN 14154-3 e EN 14268, que correspondem à normativa da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 212 e à portaria 246/2000 do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). As normativas europeia e brasileira foram baseadas na *International Organization for Standardization* (ISO) 4064 e *International Organization of Legal Metrology* (OIML) R49.

Figura 6 – Esquema de instalação dos hidrômetros na bancada de ensaio.



Fonte: NBR NM 212 (1999).

3.3 Ensaio dos hidrômetros

Os hidrômetros foram analisados conforme suas características específicas: tipo de medidor, classe metrológica, diâmetro e vazões mínima, de transição, nominal e máxima (Tabela 1), e de acordo com as normativas europeia UNE EN 14154-3 e EN 14268 e a brasileira ABNT NBR 212 e 246/2000 do INMETRO.

Foram realizados, considerando 10 hidrômetros e três posições de instalação, um total de 30 ensaios. Os procedimentos e equipamentos utilizados no ensaio permitiram obter resultados confiáveis e fidedignos às provas de erro (ISO 4064).

A avaliação metrológica dos hidrômetros foi realizada de acordo com os padrões internacionais para medir o fluxo da água que escoar em um conduto fechado. O método utilizado para medir a taxa de fluxo baseou-se no controle da massa do fluido, descrito na normativa europeia EN 24185:1993, que corresponde à normativa brasileira ABNT NBR ISO 4185:2009, ambas fundamentadas na ISO 4185:1980. Portanto, são compatíveis para o ensaio de bancada dos hidrômetros e seus respectivos erros de medição.

O ensaio consistiu em testar os hidrômetros nas três posições distintas, para verificar se os erros de medição se encontravam dentro dos limites máximos recomendados pelas normas ISO (4064). Também foram testadas vazões crescentes e decrescentes para simular as possíveis oscilações que podem ocorrer na distribuição real de água, tentando se aproximar ao máximo da realidade em campo.

O procedimento de ensaio consistiu na circulação da água a montante e a jusante do hidrômetro, fazendo com que a água circulasse em toda a tubulação, atravessando o hidrômetro e registrando o volume no relógio medidor, até desaguar no tanque de pesagem, para o recebimento da água e registro da sua massa.

A tolerância máxima do erro de medição é de $\pm 5\%$ entre a vazão mínima (Q_{\min}) e a vazão de transição (Q_t), onde estes limites compreendem o campo inferior de medição, e de $\pm 2\%$ entre a vazão de transição (Q_t) e a vazão máxima (Q_{\max}), compreendendo o campo superior de medição (ISO 4064).

O erro de medição (E) do hidrômetro é a porcentagem de água que atravessa o mesmo em um sistema de distribuição de água e que não é exatamente medida. O erro de medição (E) e a vazão média (Q) dos hidrômetros foram calculados com as Equações 1 e 2, conforme as normas ISO (4064).

$$E = \frac{V_i - V_e}{V_e} 100 \quad (1)$$

onde:

E é o erro de medição (%);

V_i é o volume indicado pelo hidrômetro (m^3);

V_e é o volume de referência (m^3).

$$Q = \frac{V_e}{\text{Tempo}} \quad (2)$$

onde:

Q é a vazão média do ensaio ($m^3 h^{-1}$);

Tempo é o intervalo de tempo gasto do ensaio (h).

Os ensaios partiram desde vazões mais baixas que a mínima (Q_{\min}), aumentando progressivamente até vazões de sobrecarga, acima da vazão máxima (Q_{\max}), de acordo com a classificação metrológica de cada hidrômetro.

Para estimar o erro de medição dos hidrômetros, foram realizados ensaios de medição que se basearam na obtenção da massa da água vertida em um depósito de pesagem (ISO 4185). A massa de água foi pesada com o auxílio de um tanque de pesagem acoplado com células de carga (Figura 7) e, posteriormente, convertida em volume. Esse volume, denominado de volume de referência (V_e), foi comparado com o volume indicado pelo hidrômetro (V_i), obtido pela diferença entre as leituras do volume acumulado final e volume acumulado inicial.

O depósito de pesagem é um tanque de chapas de aço inoxidável com área de exposição quadrada, sendo as suas dimensões de 0,75 m nas laterais e 0,90 m de profundidade. O tanque se apoiava sobre um mecanismo de transmissão de peso formado por quatro células de carga, localizadas em cada um dos cantos (Figura 7).

Figura 7 - Tanque com células de carga para pesagem da água (A); água sendo depositada no tanque (B) e detalhe das células de carga (C). Valência, Espanha, 2016.



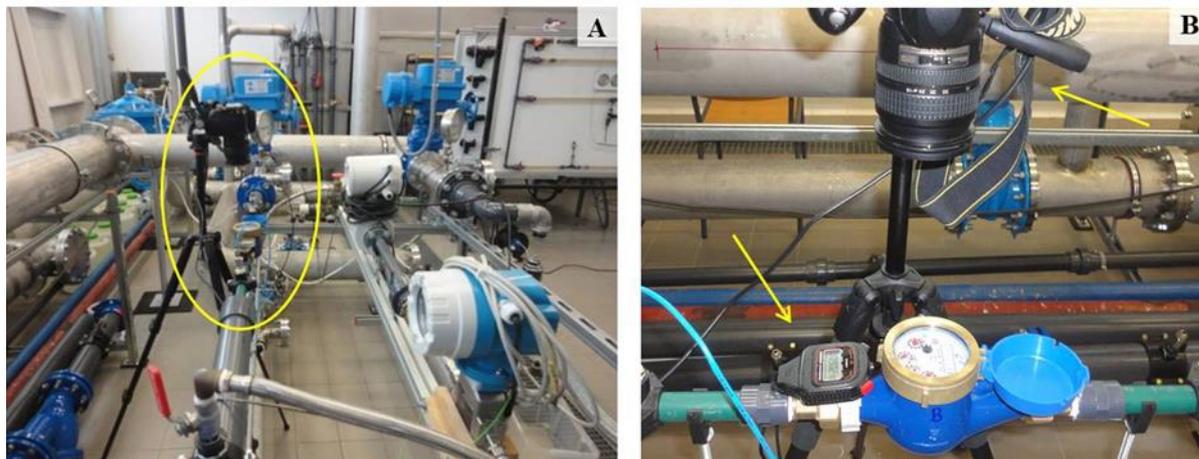
As células de carga, da marca Utilcell – modelo 350, possuíam 6.000 divisões ou sensibilidade de $0,6 \text{ V V}^{-1}$. A certificação das células de carga foi realizada pela *Secretaria d'Indústria – Generalitat de Catalunya*, de acordo com recomendação da norma OIML R 60: 2000, com precisão de pesagem de 0,017%.

Foi utilizado um *datalogger* integrado ao módulo de memória e um display (modelo *Utilcell Smart*), para a coleta e armazenamento dos dados provenientes das células de carga e posterior transferência para um microcomputador.

No fundo do tanque, foi feita a instalação de um sistema de drenagem, construído com tubo de PVC de 75 mm de diâmetro, interligado ao sistema de alimentação de água do laboratório. Esse sistema, sendo fechado e controlado, reaproveitou toda a água utilizada nos ensaios.

O volume acumulado no hidrômetro foi registrado diretamente pelo equipamento, enquanto o tempo de ensaio, através de um cronômetro. Ambos os parâmetros (volume e tempo), que permitiram estimar o erro de medição e a vazão média do ensaio (Equações 1 e 2), foram fotografados com auxílio de uma câmera digital (Figura 8). Esta técnica foi utilizada por ser considerada suficiente precisa para calibração dos hidrômetros, além de sua praticidade e aplicabilidade em diversas condições de instalação.

Figura 8 – Vista da bancada de ensaio dos hidrômetros (A) e detalhe da câmera fotográfica e do cronômetro (B). Valência, Espanha, 2016.



A normativa europeia EN 14268 define que devem ser contabilizados um número mínimo de cinco vazões dentro de uma faixa estabelecida, que compreende desde a vazão mínima (Q_{\min}) até a vazão máxima (Q_{\max}), incluindo a vazão nominal (Q_n). Esses valores foram cumpridos a fim de serem usados nos ensaios para verificação e confecção da curva de erro (Figura 9). Os valores dessas vazões foram:

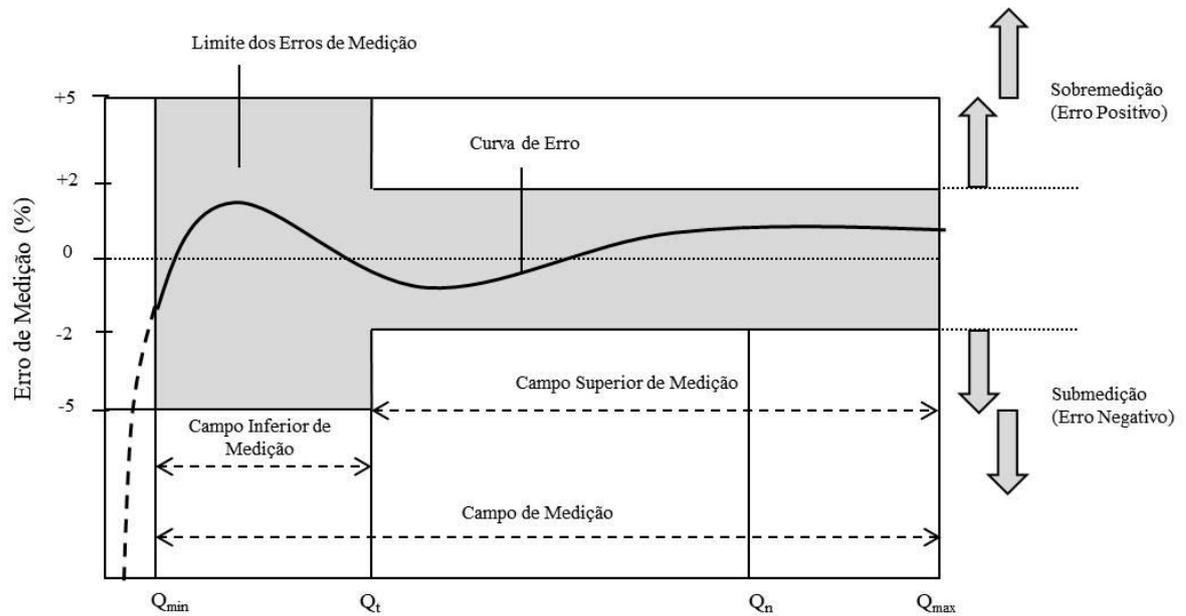
- entre Q_{\min} e $1,1 Q_{\min}$;
- entre Q_n e $0,22 Q_n$;
- entre $0,45 Q_n$ e $0,5 Q_n$;
- entre $0,9 Q_n$ e Q_n ;
- entre $0,9 Q_{\max}$ e Q_{\max} .

Portanto, a partir dos erros de medição estimados com vazões crescentes e decrescentes, foram obtidas duas curvas de erro para as três posições de instalação de cada hidrômetro. Dessa forma, através do programa Microsoft Excel®, foram confeccionadas as curvas de erro de medição para cada hidrômetro testado e nas três posições distintas, interpolando linearmente os valores do erro e os valores da vazão.

Para que a curva atenda aos limites estabelecidos pelas normativas, esta deve estar dentro do campo de medição (área de cor cinza), conforme apresentado na Figura 9. Não atendendo a esses valores, é provável que o hidrômetro esteja apresentando erros de

sobremedidaç o e/ou de submedidaç o, ou seja, erros maiores ou menores que os limites recomendados pela norma ISO 4064 (Figura 9).

Figura 9 – Gráfico da curva de erro de medidaç o.



Fonte: Adaptado de Arregui *et al.* (2004).

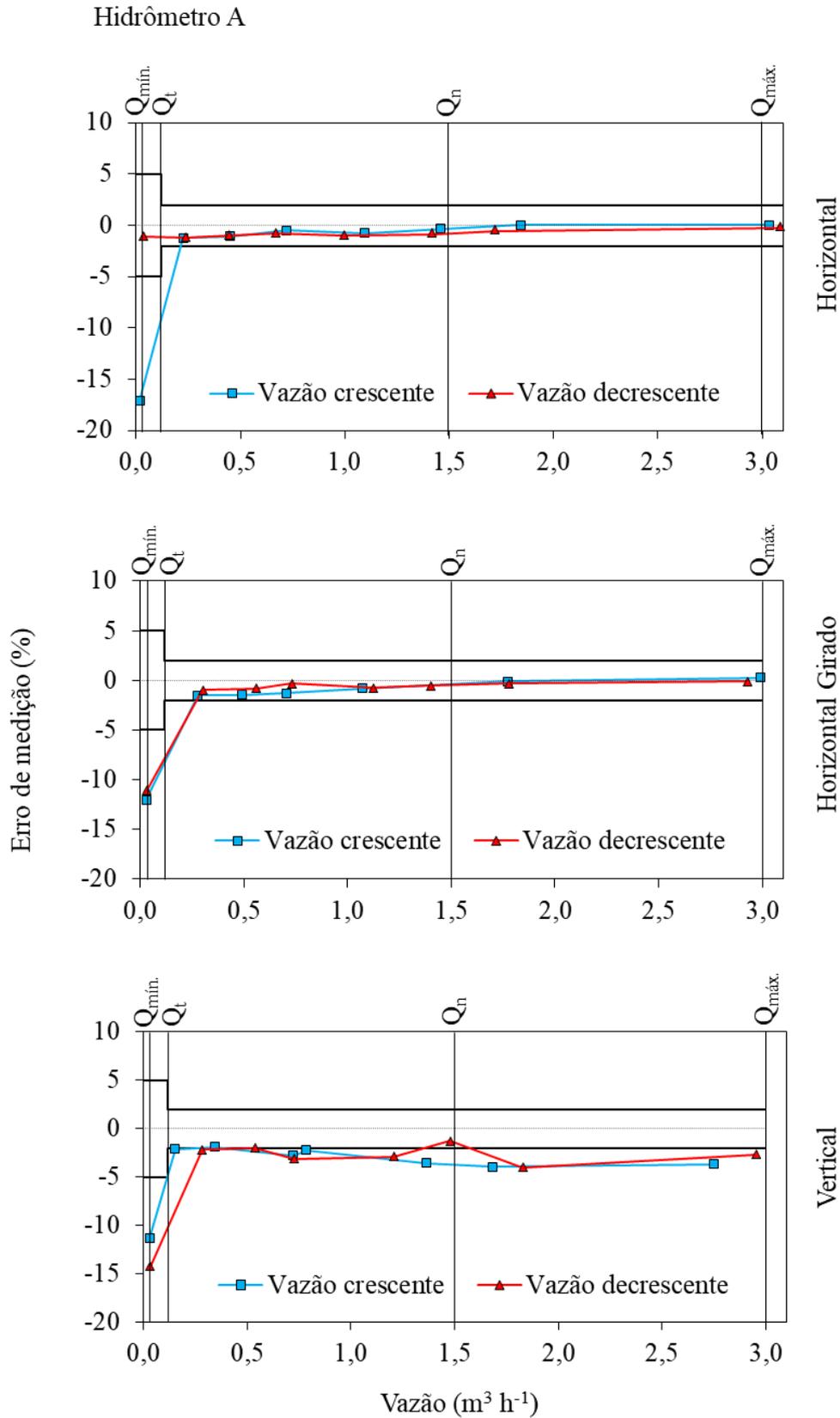
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os ensaios metrológicos realizados nos dez hidrômetros testados e nas três posições distintas (horizontal, horizontal girado e vertical), a posição de instalação de alguns hidrômetros provocaram erros de submedição e sobremedição, ou seja, além dos limites máximos permitidos pelas normativas europeias: EN 14268 e EN 14154; e as normativas brasileiras: NBR 212 e portaria 246/2000 do INMETRO, conforme estabelecido pela ISO 4064.

Analisando as curvas de erro do hidrômetro “A” (Figura 10), observou-se que o hidrômetro nas posições horizontal e horizontal girado apresentaram suas curvas de erro dentro do campo de medição. Com exceção da Q_{\min} , todas as outras vazões apresentaram erros de medição dentro dos limites aceitáveis pelas normativas. Tal comportamento da curva do erro de medição pode estar relacionado ao seu posicionamento de instalação na horizontal.

Vale destacar que na normativa brasileira, NBR 212, é apresentado em seu texto que “os medidores de água aptos para funcionar com uma vazão permanente de até $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a uma pressão de até 1 MPa (10 bar) e a uma temperatura compreendida entre $1 \text{ }^\circ\text{C}$ e $40 \text{ }^\circ\text{C}$, em posição horizontal, com o eixo da turbina na posição vertical”. Assim, conforme o texto da normativa brasileira, a posição de instalação dos hidrômetros, na classificação citada, deve ser horizontal. A posição de instalação de hidrômetros na horizontal, que é a mais recomendada pela literatura (PALAU, 2005; GULARTE, 2005; ARREGUI *et al.*, 2007), pode ocasionar submedição por uma leve inclinação do hidrômetro em baixas vazões (AGUIAR, 2019).

Figura 10 – Curva de erro de medição do hidrômetro “A”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.



Outro fator observado no comportamento da curva do erro de medição do hidrômetro “A”, nas posições de instalação horizontal e horizontal girado, é a sua linearidade. Este comportamento mostra que o erro de medição foi praticamente nulo, isto é, que apresentou valores próximos de zero, indicando um funcionamento eficiente do hidrômetro.

Esta linearidade nas curvas do erro de medição do hidrômetro “A” na horizontal e horizontal girado também pode estar relacionada ao equipamento ser considerado novo e ter pouco tempo de uso, ou seja, ter pouco desgaste das suas engrenagens internas (FONTANAZZA *et al.*, 2013). O volume acumulado estava em torno de 26,7 m³ (Tabela 1), antes de dar-se início aos ensaios.

O mesmo comportamento das curvas do erro de medição na horizontal e horizontal girado não ocorreu quando o hidrômetro estava na posição de instalação vertical, pois a curva de erro ficou fora do campo de medição (Figura 10). Apesar de o fabricante do hidrômetro “A” recomendar que a instalação pode ser feita na horizontal, vertical ou inclinada, o ensaio realizado não apresentou resultados favoráveis para a instalação na posição vertical.

O hidrômetro “A” na posição vertical apresentou erro de submedição (erro negativo) tanto no aumento como na diminuição de vazão, com a curva de erro abaixo do campo superior de medição, sobretudo, quando o hidrômetro esteve funcionando com vazão próxima ao seu valor nominal ($Q_n = 1,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Nessa vazão, registrada em $1,68 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, o erro foi estimado em -3,97%, sendo superior ao erro aceitável pela ISO 4064 nesta vazão, de $\pm 2\%$. O erro de submedição pode ocasionar prejuízo para a companhia responsável pela distribuição de água, por não possibilitar o registro de toda a vazão consumida.

Este comportamento da curva do erro de medição do hidrômetro “A”, operando na posição vertical, deve estar relacionado com a própria posição de instalação. Gularte (2005), avaliando a inclinação de instalação de hidrômetros em um parque de hidrômetros na cidade de Blumenau – SC, também observou submedição, quando os hidrômetros estavam com o eixo da turbina fora da posição vertical, levando a uma degradação das características metrológicas nos hidrômetros. Tal fato também foi observado por Palau (2005), ao avaliar hidrômetros monojatos em posição de instalação vertical na Espanha, no qual também foi observado um desgaste mais acelerado da superfície interna da turbina.

Arregui *et al.* (2007) afirmam que os hidrômetros velocimétricos multijatos foram desenhados para funcionar com o eixo da turbina na vertical, para isso, o hidrômetro deve ser instalado na posição horizontal. Estes autores também afirmam que, quando os hidrômetros são instalados na posição horizontal, ocorre um menor torque de resistência, o que reduz o desgaste na parte móvel da turbina do hidrômetro. Com o passar do tempo, a orientação inadequada de

instalação pode causar desgaste natural dos elementos móveis e, conseqüentemente, erros significativos de medição.

No Brasil, é comum que a instalação dos hidrômetros ocorra na posição horizontal. Na Espanha, em geral, ocorre o contrário, devido ao pouco espaço disponível nas áreas agrícolas e urbanas. Usualmente, eles são instalados em posição vertical ou inclinado para aproveitamento da área. Contudo, a ISO 4064 recomenda que a posição de instalação deve ser indicada pelo fabricante no catálogo ao adquirir o produto.

Nas normativas europeias EN 14154-3 e EN 14268, a recomendação de instalação dos hidrômetros segue a mesma recomendação da ISO 4064. Ademais, a recomendação é que essa especificação também deva vir marcada de forma clara e legível no próprio hidrômetro, usando letra V para vertical e H para horizontal.

A normativa brasileira ABNT NBR 212 recomenda que os hidrômetros velocimétricos multijatos de água potável fria de até $15 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ devam funcionar em posição horizontal, com o eixo da turbina na posição vertical. A recomendação da NBR 212 corrobora com os resultados presentes na Figura 10, onde a posição de instalação do hidrômetro “A” na vertical provocou erros de medição fora do campo superior de medição e, conseqüentemente, fora dos limites estabelecido pela normativa.

O hidrômetro “B” na posição horizontal (Figura 11) apresentou suas curvas de erro de medição dentro dos limites aceitáveis (ISO 4064). Já nas posições horizontal girado e vertical, apresentaram erros de medição na parte inferior do campo de medição da $Q_{\text{mín}}$, corroborando com Tsutiya (2018), que também observou submedição de hidrômetros em baixas vazões.

O hidrômetro “C” (Figura 12) teve suas curvas de erro dentro do campo medição, após a $Q_{\text{mín}}$, com exceção da posição vertical, que também apresentou erros de medição próximos à Q_n e menos linearidade na curva de erro. O comportamento mais instável na posição vertical pode estar relacionado justamente ao eixo da turbina não estar na posição indicada para funcionamento adequado do hidrômetro.

Os catálogos dos fabricantes dos hidrômetros “B” e “C” não contêm nenhum tipo de informação sobre a indicação de posicionamento de instalação. Ou seja, não seguem a normativa ISO 4064, a qual indica que a informação deve ser apresentada no catálogo. Porém, seguiram a normativa europeia, que sugere a indicação da letra H na relojoaria do hidrômetro como recomendação de instalação na posição horizontal.

Figura 11 – Curva de erro de medição do hidrômetro “B”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.

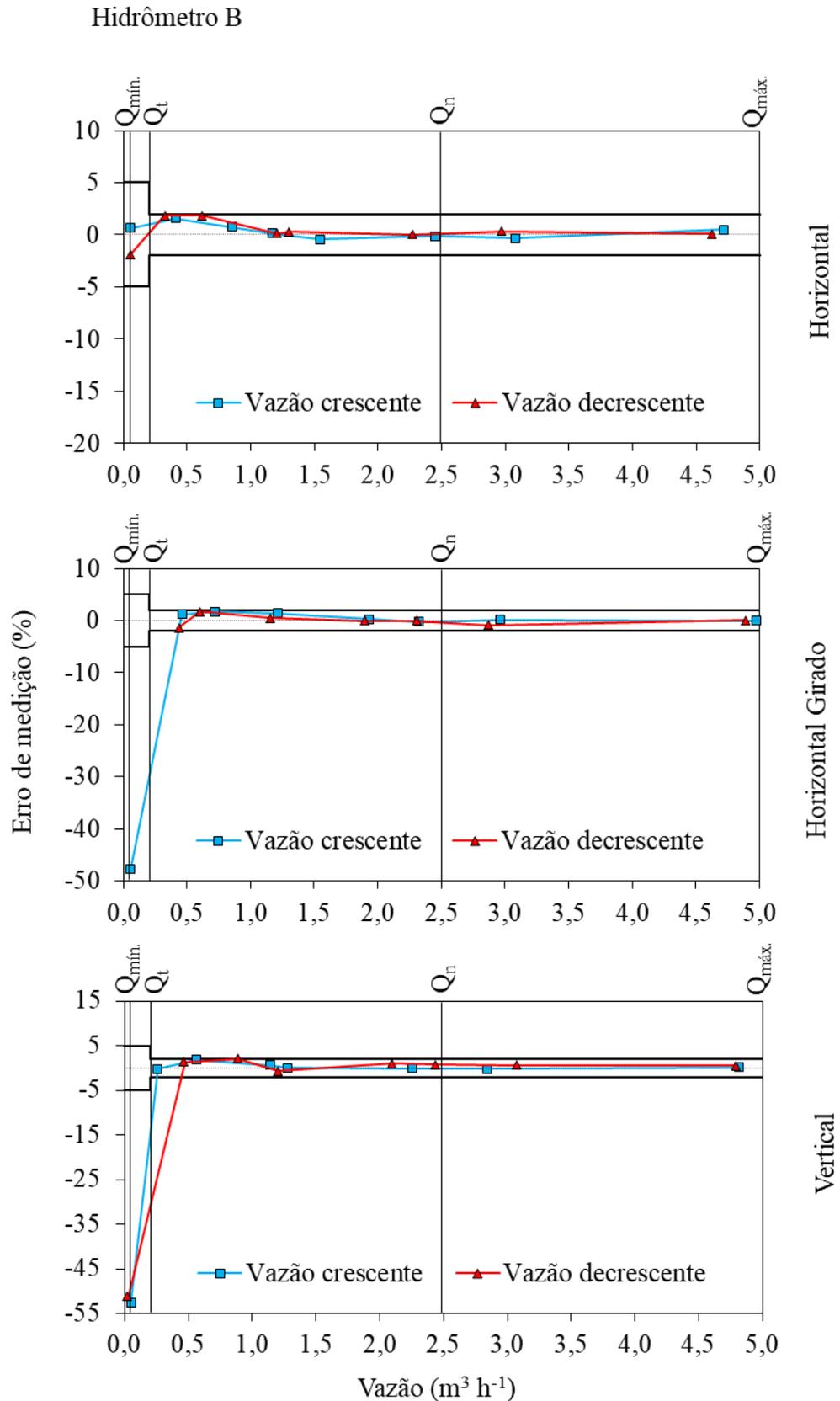
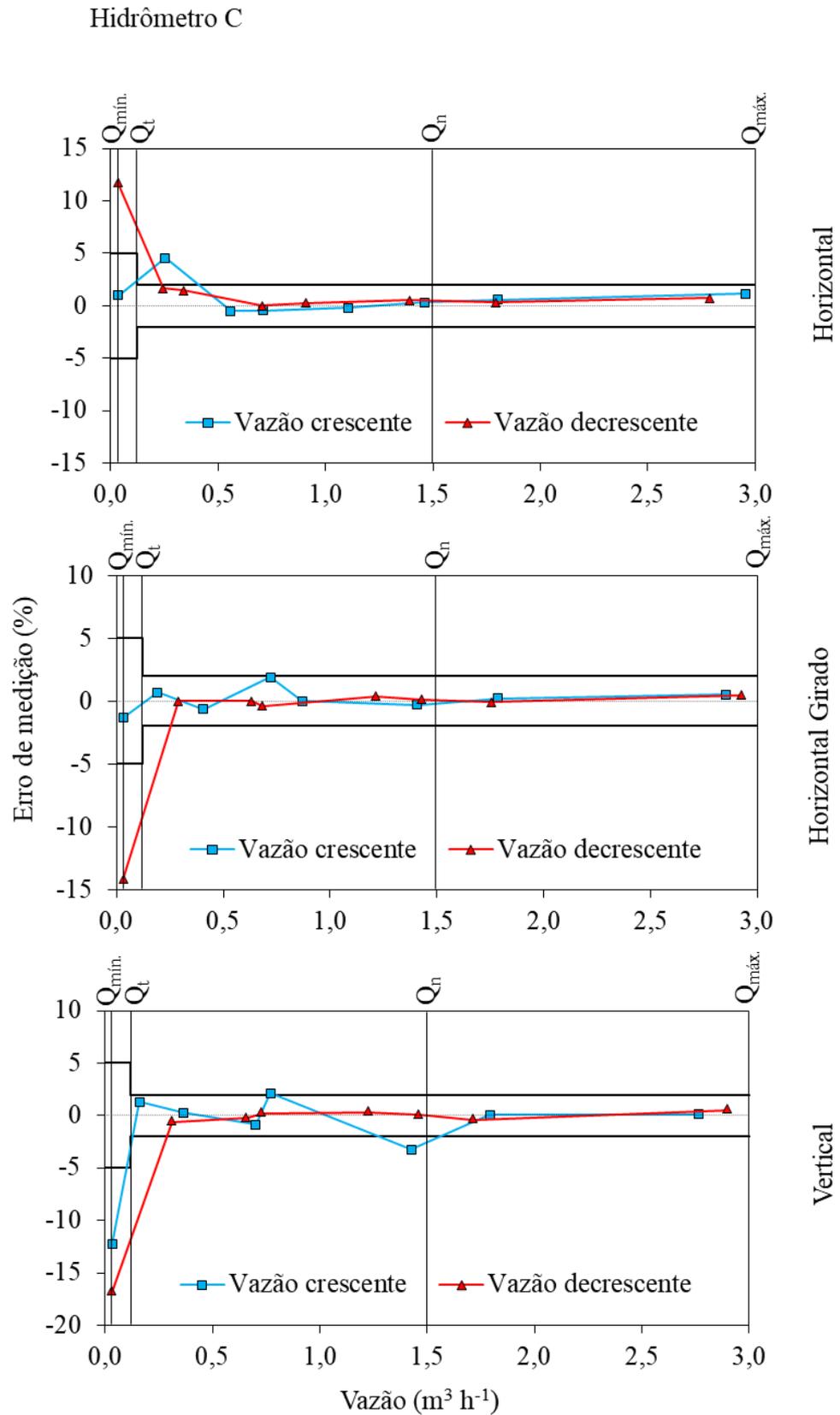


Figura 12 – Curva de erro de medição do hidrômetro “C”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.



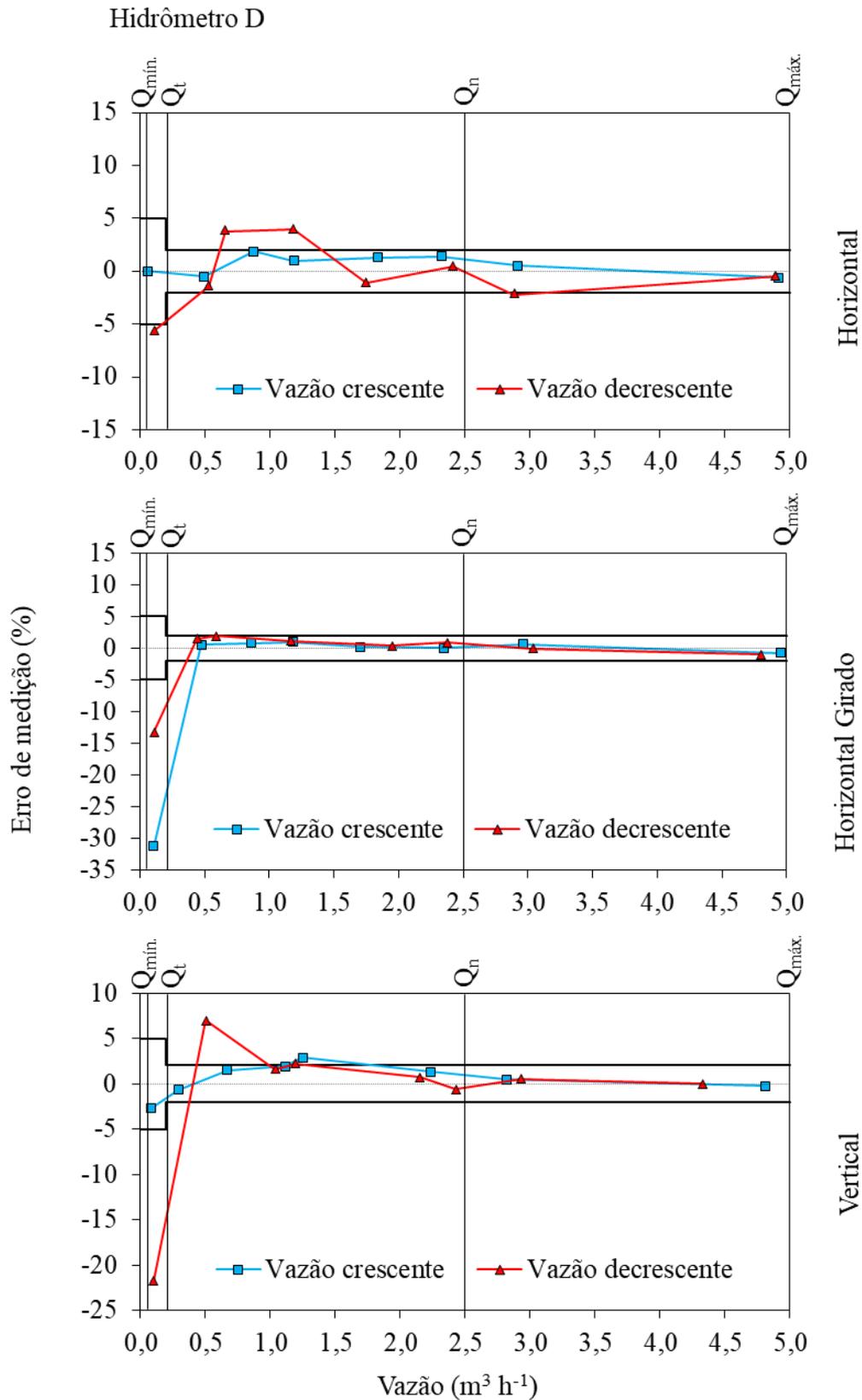
O hidrômetro “D” apresentou sobremedição (erro positivo) na vazão decrescente, quando ensaiado na posição vertical. Quando o hidrômetro esteve operando sob vazão de $0,50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, próxima à vazão de transição ($Q_t = 0,20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), o erro de medição neste ponto da curva foi de 6,98%. Porém, neste caso, o erro máximo permitido para o campo inferior de medição é de $\pm 5\%$ (ISO 4064). Esse erro desfavorece o consumidor e favorece a empresa de gestão da água.

O erro de medição do hidrômetro “D” (Figura 13) instalado na posição vertical pode estar relacionado com o desgaste das partes móveis do hidrômetro, devido ao tempo de uso. Este equipamento apresentou o segundo maior tempo de uso, pois seu volume acumulado antes do ensaio era de $843,5 \text{ m}^3$. O hidrômetro “D” foi fabricado no ano de 1981 e o seu fabricante não disponibilizou o catálogo na internet. De qualquer forma, a letra H estava grifada na tampa de proteção, sugerindo sua posição de instalação na horizontal.

Palau *et al.* (2018), avaliando hidrômetros monojatos, observaram erros crescentes com o tempo de uso, registrando o consumo de forma mais deficiente com o passar do tempo. Esse fato é mais perceptível em baixas vazões (30 L h^{-1} , por exemplo), onde as forças motrizes da água são mais baixas e provocam maior atrito e desgaste das partes internas das engrenagens, indicando condições operacionais menos favoráveis.

Na posição horizontal, o hidrômetro “D” indicou sobremedição e não linearidade na sua curva de erro. Isso pode ter sido ocasionado pelo seu tempo de uso, pois hidrômetros com mais tempo de uso podem apresentar danos nas engrenagens da turbina. Aguiar (2018) afirma que a sobremedição é mais comum ocorrer em vazões acima das Q_t , conforme também apresentado na Figura 13. Era de se esperar que o hidrômetro tivesse uma baixa precisão em todas as posições de instalação, o que não ocorreu na posição horizontal girado.

Figura 13 – Curva de erro de medição do hidrômetro “D”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.



Os hidrômetros “E”, “F” e “H” apresentaram suas curvas de erro de medição, nas três posições avaliadas, dentro dos limites aceitáveis pelas normativas espanhola e brasileira, EN 14268 e NBR 212, respectivamente (Figuras 14, 15 e 17).

Nas posições horizontal girado e vertical, o hidrômetro “E” registrou bloqueio ao atingir a vazão máxima ($Q_{\max} = 12 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Isso significa que o hidrômetro parou de registrar o volume e a água continuou circulando pelo sistema de distribuição. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de o hidrômetro possuir um maior tempo de uso, logo, uma possível deterioração nas suas engrenagens móveis internas (Silva et al., 2016 e PALAU *et al.*, 2018), pois seu volume acumulado antes do ensaio era de $164,2 \text{ m}^3$.

Os hidrômetros “F” e “H” funcionaram adequadamente durante os ensaios nas vazões acima da Q_{\min} , apresentando curvas do erro dentro dos limites aceitáveis. Entre eles, o hidrômetro “H” instalado na horizontal foi o único que apresentou Q_{\min} dentro dos limites de erro de medição. Os volumes acumulados dos hidrômetros “F” e “H”, antes do ensaio, eram de 1 m^3 e 11 m^3 , respectivamente. Hidrômetros com pouco tempo de uso normalmente possuem suas engrenagens em estado propício para seu funcionamento adequado.

As curvas de erro do hidrômetro “G”, nas três posições avaliadas, ficaram bem próximas da linha limite do campo superior de medição. Nas posições horizontal girado e vertical, as curvas de erro estiveram pouco abaixo do campo superior de medição, ou seja, fora dos limites aceitáveis (Figura 16). O volume acumulado do hidrômetro “G” antes do ensaio foi de $1.764,2 \text{ m}^3$, indicando que o tempo de uso do hidrômetro é um fator que pode influenciar o seu funcionamento (FONTANAZZA *et al.*, 2013). O mesmo também apresentou submedição nas Q_{\min} , ou seja, baixas vazões. O aumento do tempo de uso costuma gerar desgastes nas partes móveis de hidrômetros (CRIMINISI et al., 2009).

Os catálogos dos hidrômetros: “E”, “F” e “G” não estavam disponíveis na internet, porém, a letra H estava presente na relojoaria dos hidrômetros. Dessa forma, seguem a normativa europeia, que diz que a recomendação de posição de instalação deve vir marcada de forma clara e legível no próprio hidrômetro. As recomendações de instalação do hidrômetro “H” não constavam nem no catálogo nem no equipamento.

Figura 14 – Curva de erro de medição do hidrômetro “E”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.

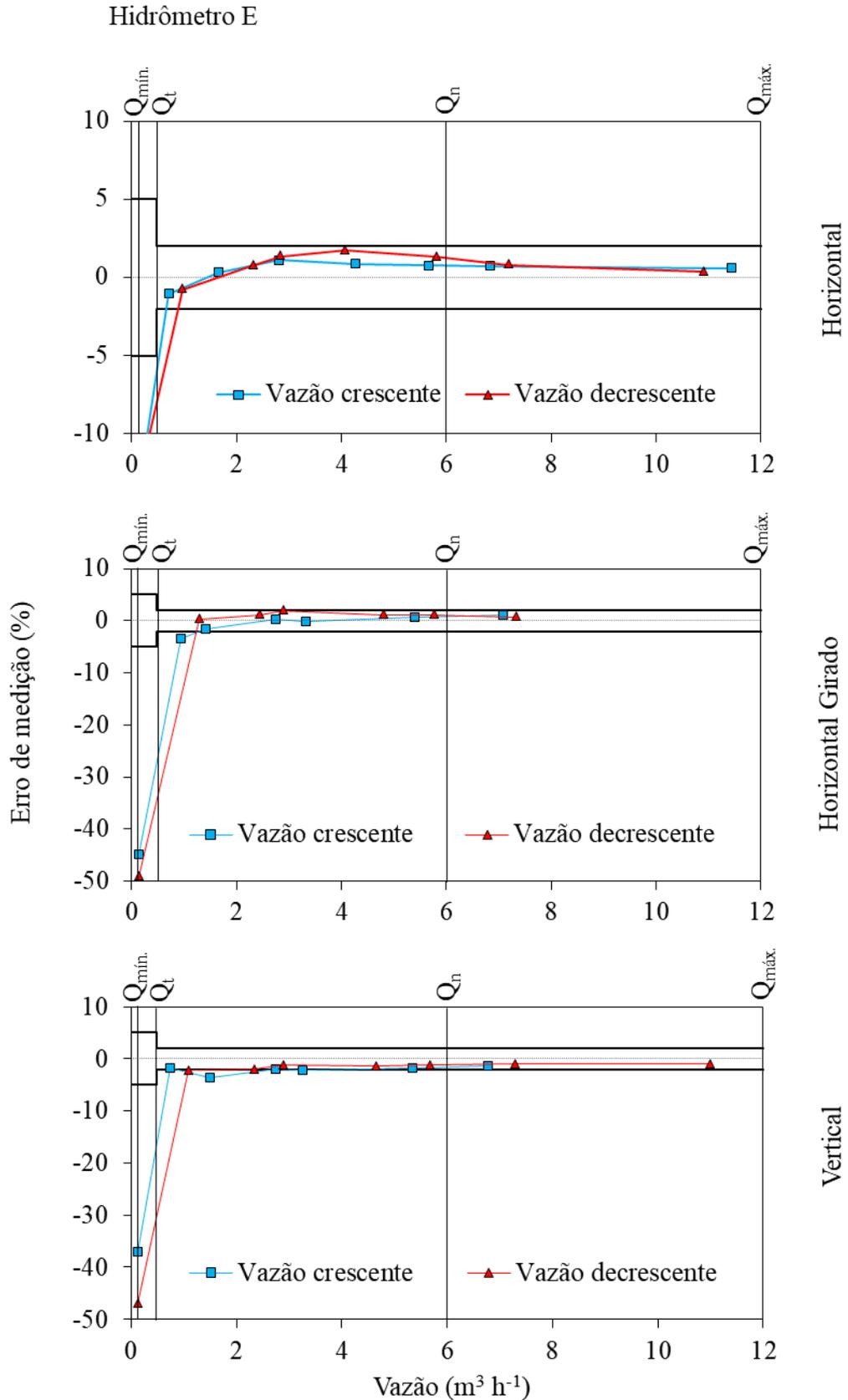


Figura 15 – Curva de erro de medição do hidrômetro “F”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.

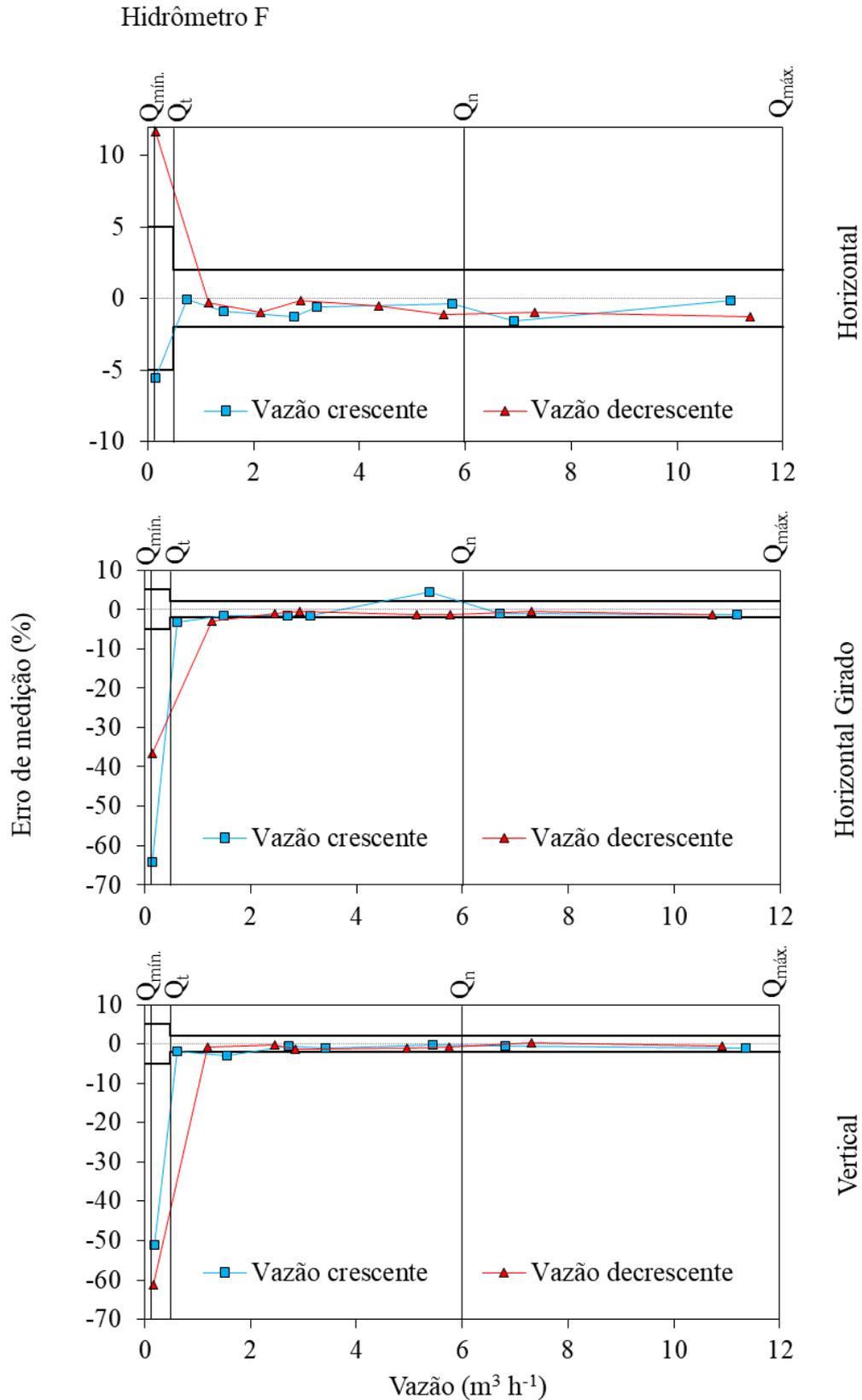


Figura 16 – Curva de erro de medição do hidrômetro “G”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.

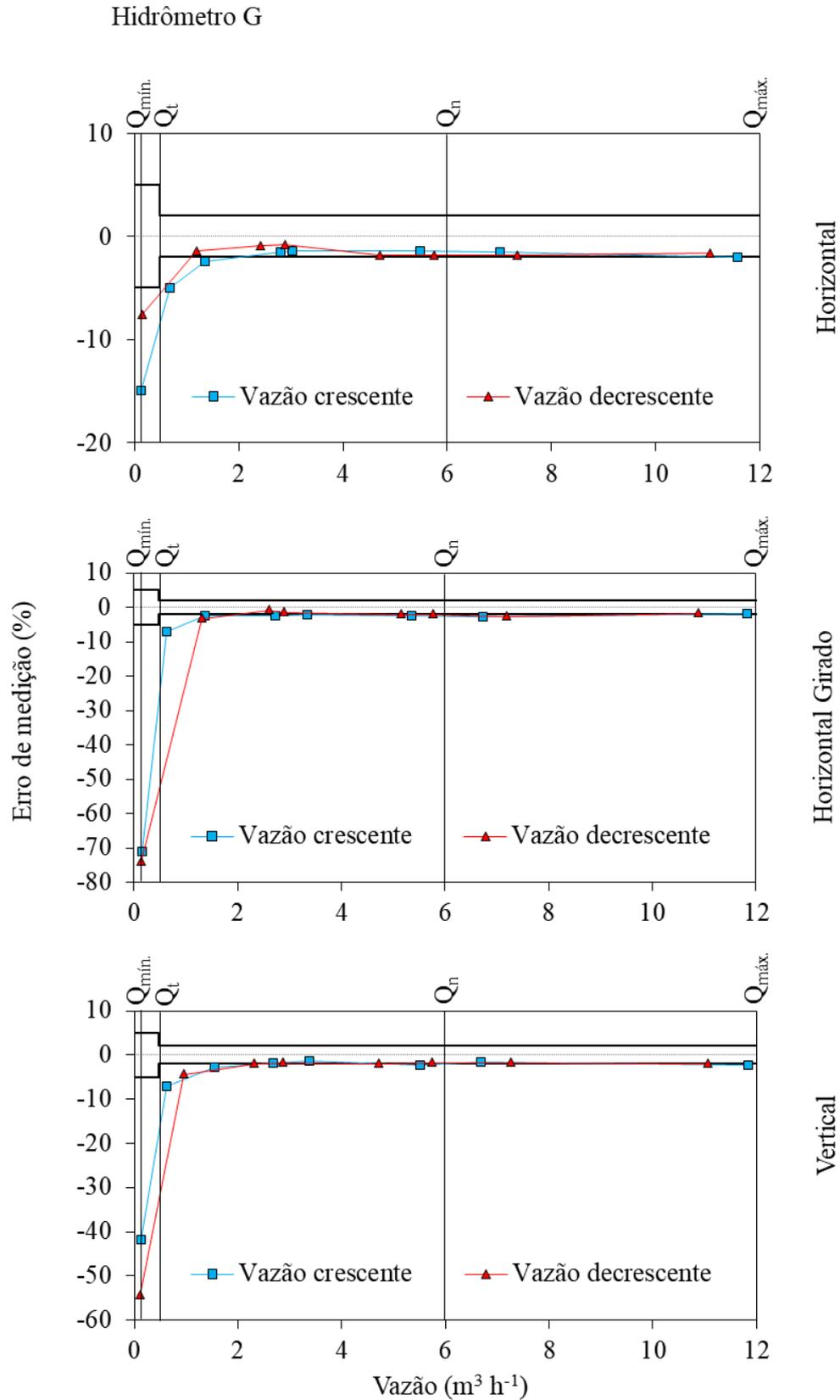
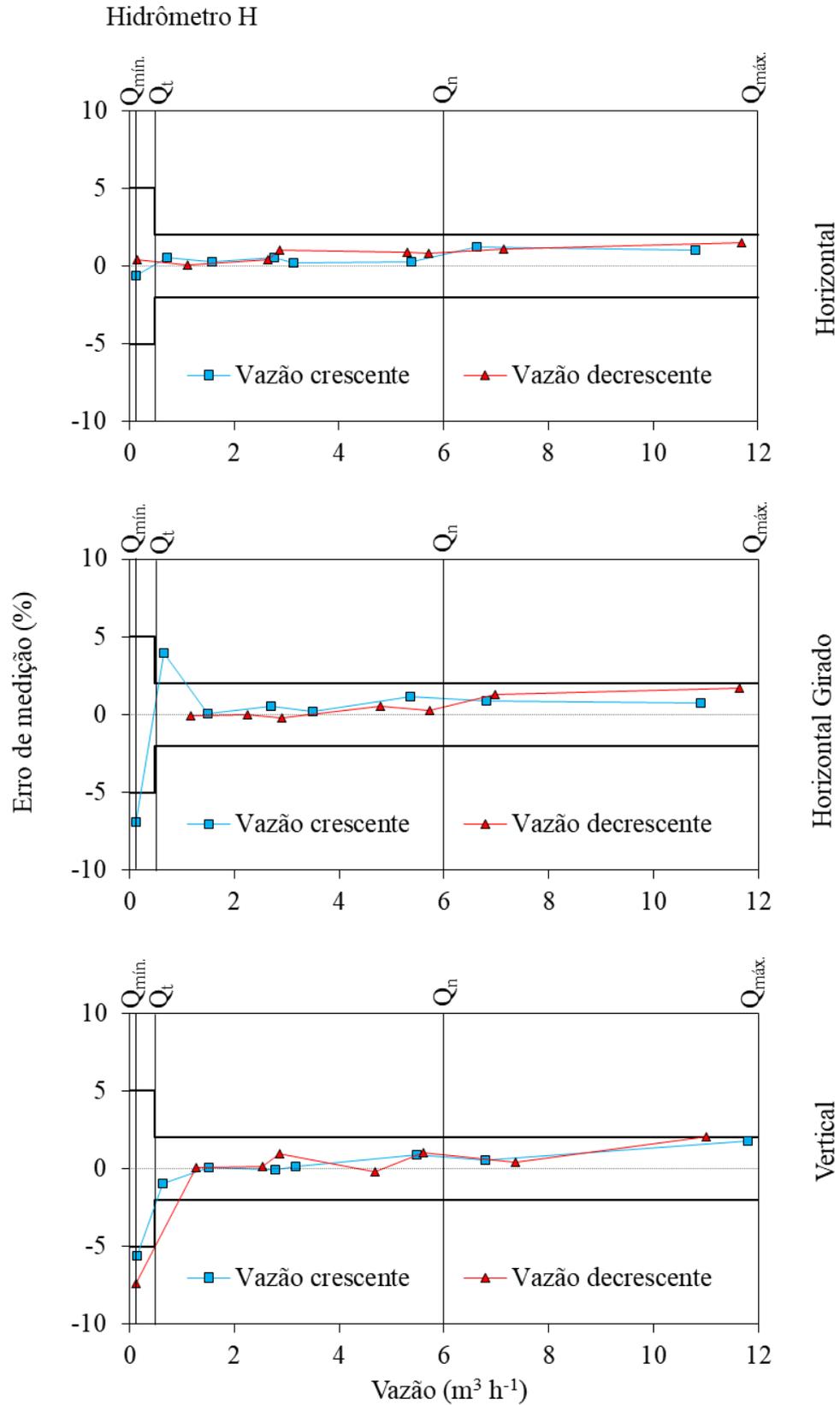


Figura 17 – Curva de erro de medição do hidrômetro “H”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.



O hidrômetro “I” (Figura 18), nas três posições avaliadas, apresentou submedição nas Q_{\min} e Q_t , ou seja, nas vazões mais baixas. Com o aumento da vazão, as curvas do erro de medição mantiveram-se dentro dos limites de erro estabelecidos pela normativa ISO 4064.

O hidrômetro “J” apresentou maior instabilidade nas suas curvas do erro de medição, nas três posições de instalação, ou seja, menor linearidade da curva, o que pode estar relacionado à sua classe metrológica. Entre os hidrômetros ensaiados, o hidrômetro “J” é o único que possui sistema de transmissão magnético e é da classe metrológica C, o que permite maior sensibilidade a baixas vazões e pouca resistência às forças de atrito nas partes móveis do hidrômetro. Além disso, foi o hidrômetro mais estável a baixas vazões.

Na posição horizontal girado, dos hidrômetros “I” e “J”, e na posição vertical, do hidrômetro “J”, as curvas do erro de medição estiveram acima do campo superior de medição, indicando sobremedição.

Pesquisas como a de Bunelli e Farias (2006) sugerem que fatores como qualidade da água que atravessa o hidrômetro, existência de ar na rede de distribuição de água ou posição de instalação inadequada podem provocar erros de sobremedição, por danificarem os mancais, que provocam o aumento na rotação das engrenagens internas. No presente trabalho, a posição de instalação foi um único fator que deve ter afetado a precisão dos hidrômetros, já que os testes foram realizados em laboratório, obedecendo às normativas estabelecidas (ISO 4064). Neste caso, a bancada foi equipada com válvulas e filtros adequados para evitar a influência da qualidade da água e da presença de ar na tubulação, sobre a avaliação metrológica dos equipamentos.

O catálogo do hidrômetro “I” não estava disponível online, porém, a letra H estava marcada na sua relojoaria, sugerindo a posição de instalação na horizontal. Já o hidrômetro “J” apresentou tanto no catálogo como grifado no equipamento, as letras H e V, sugerindo que o mesmo pode ser instalado na posição horizontal e vertical. Os resultados do ensaio, entretanto, mostraram que a posição de instalação na vertical foi a que proporcionou a maior instabilidade na curva de erro de medição, logo, não deve ser recomendada.

Figura 18 – Curva de erro de medição do hidrômetro “I”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.

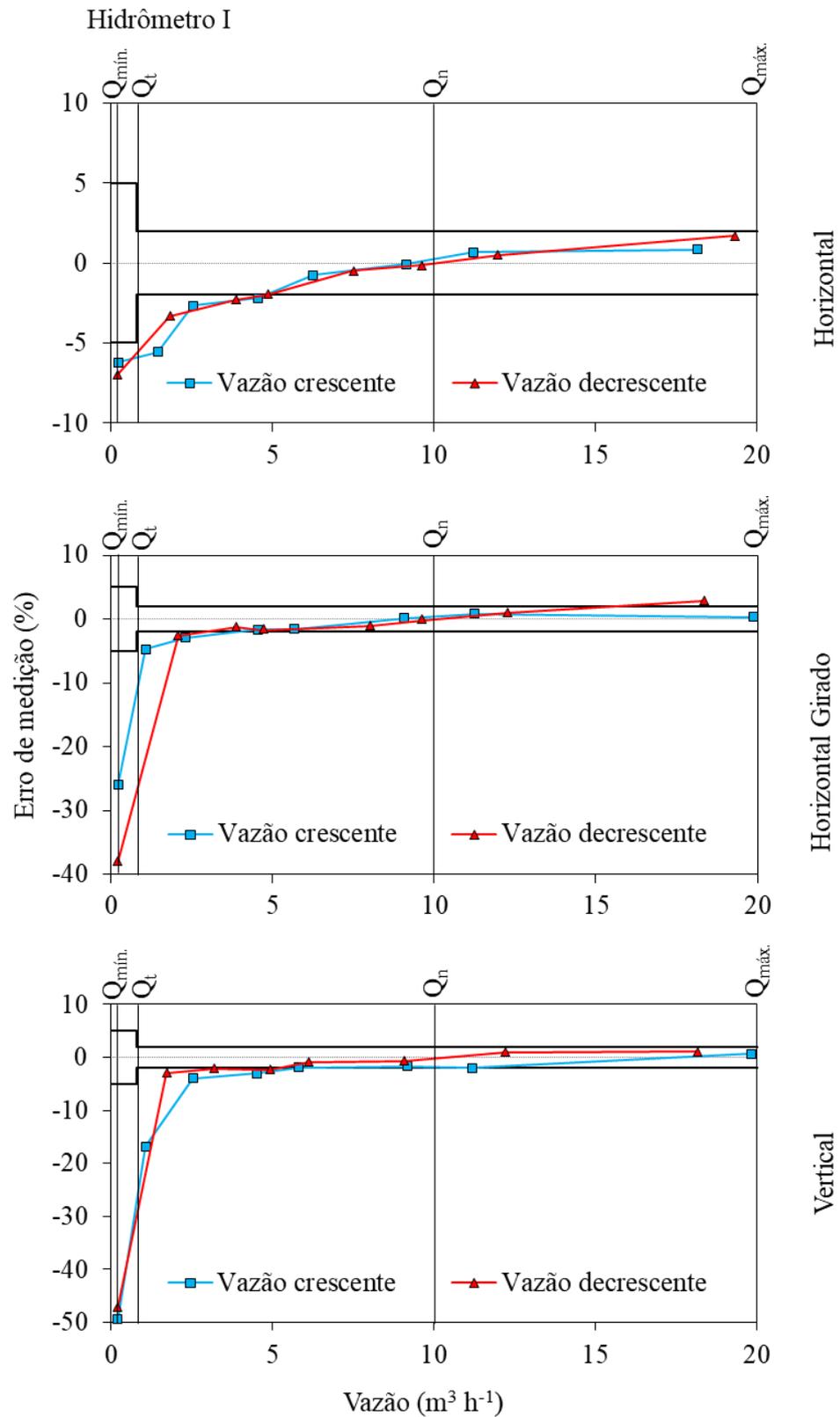
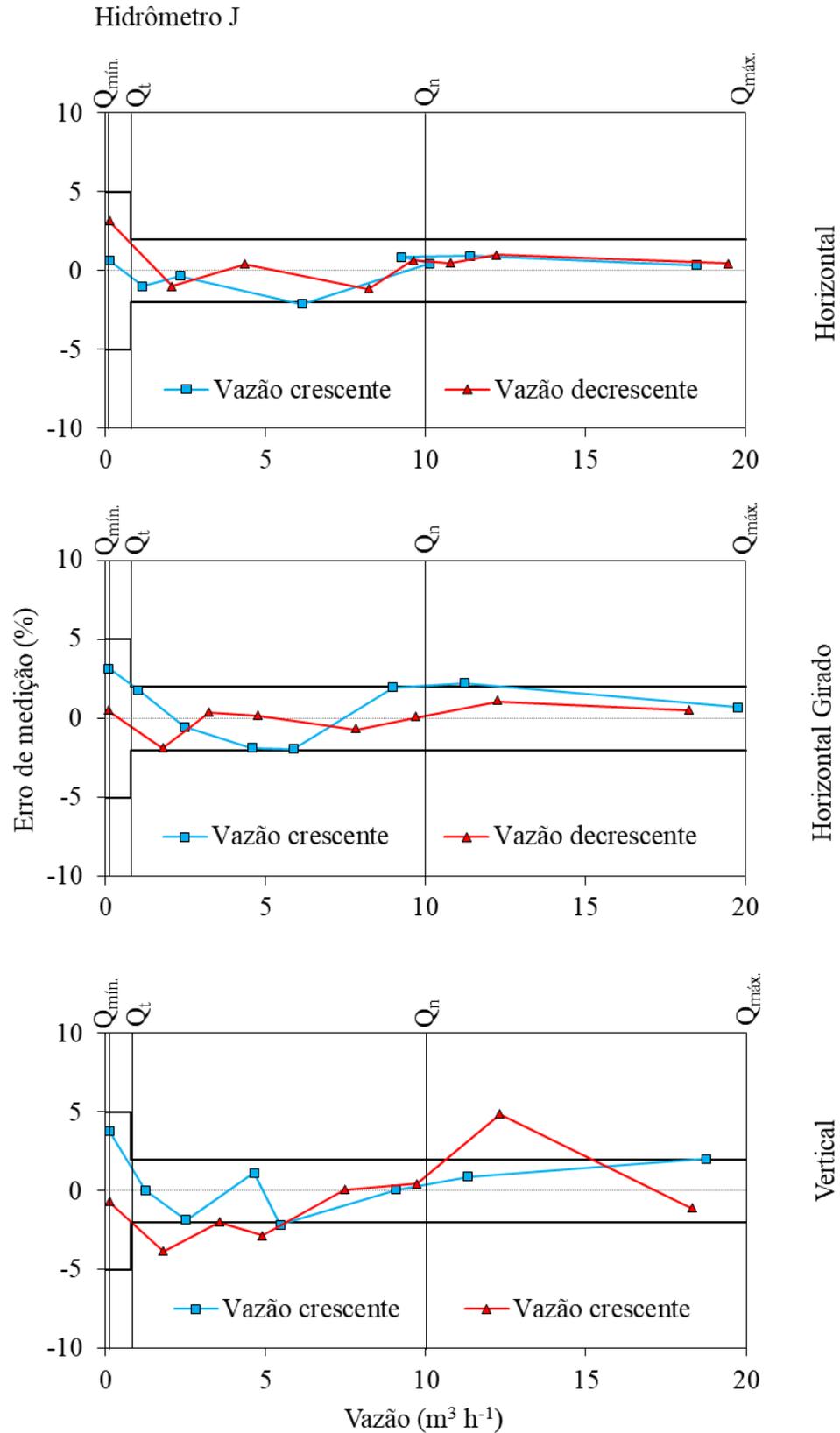


Figura 19 – Curva de erro de medição do hidrômetro “J”, instalado nas posições horizontal, horizontal girado e vertical, operando com vazões crescentes e decrescentes. Valência, Espanha, 2016.



5 CONCLUSÕES

A posição de instalação afeta o desempenho metrológico de hidrômetros velocimétricos multijatos, por gerar erros de medição com diferentes magnitudes. A posição horizontal proporciona os menores erros e é a que mais os mantém dentro dos limites aceitáveis pela norma ISO 4064. A posição horizontal girada e, sobretudo, a vertical proporcionam erros de maior magnitude que, na maioria dos equipamentos, ultrapassam os limites permitidos pela referida norma.

O tempo de uso influencia o funcionamento e a precisão de hidrômetros, devido ao desgaste natural de engrenagens internas. Equipamentos desgastados podem não operar em vazões elevadas e/ou apresentar erros de medição acima dos limites permitidos, especialmente em baixas vazões.

Erros de medição em hidrômetros são inevitáveis, porém, a instalação adequada, seguindo as normativas estabelecidas pela ISO 4064, pode reduzi-los e mantê-los nos limites permitidos, além de prolongar a vida útil dos equipamentos.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de recursos hídricos da Agência Nacional das Águas**. Brasília: ANA, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Atlas Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2018**. Brasília: ANA, 2018.
- AGUIAR, L. C. **Avaliação de perdas aparentes de água potável por erros de medição em hidrômetros de economias da grande Vitória-ES**. 2019. 145 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.
- ARREGUI, F.; PALAU, C. V.; GARCÍA-SERRA, J.; HERRERO, M. Contadores de agua para riego. Medición y recomendaciones prácticas. **Riegos y drenajes**, v.134, n. 21. p. 36-42, 2004.
- ARREGUI, F. J., CABRERA, E., COBACHO, R., & GARCÍA-SERRA, J. Reducing apparent losses caused by meters inaccuracies. **Water Practice and Technology**.v.1, n. 4, p.1-8. 2006.
- ARREGUI, F.; CABRERA, E.; COBACHO, R. **Integrated water meter management**. 1. ed. London: IWA, 2007. 272 p.
- AZEVEDO, L. G. **Impactos e externalidades sociais da irrigação no semi-árido brasileiro. Série: Água Brasil**. Brasília: Banco Mundial. 2004.v. 5. 123p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR NM 212/1999: Medidores Velocimétricos de Água Fria até 15,0 m³/h;**. 1999.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 de jan de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm /. Acesso em: 01 jul. 2019.
- CARVALHO, D. F. **Otimização do uso de água no perímetro irrigado do Gorutuba**. 2000. 145f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- Departamento Nacional de Obras Contra a Seca - DNOCS. **100 anos de Atuação no Estado do Ceará**. Fortaleza: INESP, 2010

FERREIRA, M. C. R. C. **Gerenciamento do distrito de irrigação Jaguaribe - Apodi em base ao modelo computacional "SIMIS" (FAO)**. 1999. 218 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, 1999.

FOOD AND AGRICULTURES ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO - **.Information System on Water and Agriculture** – AQUASTAT. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Acesso em: 20 de junho de 2019.

FONTANAZZA, C. M.; NOTARO, V.; PULEO, V.; FRENI, G. Effects of network pressure on water meter under-registration: an experimental analysis. **Drinking Water Engineering and Science Discussions**, Delft. v. 6, n. 1, p. 119-149.2013.

FRANÇA, F. M. C. (coord.) **A importância do agronegócio da irrigação para o desenvolvimento do Nordeste. Políticas e estratégias para um Novo Modelo de Irrigação**. Fortaleza: Banco do Nordeste, 2001, v. 1, 114 p.

GOMES, J. S. et al. **Calibração de Macromedidores in Situ** – IPT – SABESP. São Paulo, 2002.

GULARTE, C. B. **Um Estudo da Submedição na Parcela de Hidrômetros Residenciais do Parque de Blumenau - SC, através de uma Metodologia Proposta para Caracterização do Parque de Hidrômetros e Estimativa de seu Desempenho Metroológico**, 2005, 138 f. Dissertação. (Mestrado em Metrologia). Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina. 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4064-1**. Water meters for cold potable water and hot water -- Part 1: Metrological and technical requirements. Geneva. 2014. 38p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4064-2**. Water meters for cold potable water and hot water -- Part 2: Test methods. Geneva. 2014. 101p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4064-3**. Measurement of water flow in closed conduits -- Meters for cold potable water -- Part 3: test methods and equipment. Geneva: ISO, 2014. 24 p.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL. –.Recommendation 49 – **OIML R 49 – 1**Water meters for cold potable water and hot water. Part 1: Metrological and technical requirements. 2006. 45p.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DE METROLOGIA LEGAL. –.Recommendation 60. Réglementation métrologique des cellules de pesée. **OIML R 60**. Paris: Organisation Internationale de Métrologie Légale. 2000. 86p.

PALAU, C.V. **Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión**.2005. 309 f. Tese (Doutorado em Engenharia hidráulica y medio ambiente) – Universidade Politécnica de Valencia, Espanha.

PALAU, et al. Metrological performance of single-jet water meters over time. **Ambiente e Agua** - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Taubaté. v 13. n 5. 2018.

SILVA, C. M.; PADUA, V. L.; BORGES, J. M. **Contribuição ao estudo de medidas para redução da perda aparente de água em áreas urbanas**. Ambiente & Sociedade, v. 19, n. 3, p. 253-274, 2016.

TSUTIYA, M. T. **Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento** – Guia do Profissional em Treinamento. Núcleo Regional Nordeste – NURENE, 2018.