

WILLIAM ALVES TAVARES

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE AR EM PONTOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Gestão, Produção e Meio Ambiente.

Orientadores:

Prof. Elson Antônio do Nascimento, D. Sc.  
Prof. Gabriel de Carvalho Nascimento, D. Sc.

Niterói, RJ  
2018

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

W716s William alves, Tavares  
SISTEMA DE MEDIÇÃO DE AR EM PONTOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA  
/ Tavares William alves ; Elson Antonio do Nascimento,  
orientador ; Gabriel de Carvalho Nascimento, coorientador.  
Niterói, 2018.  
91 f. : il.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal Fluminense,  
Niterói, 2018.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22409/PPGEC.2018.m.10781531756>

1. Abastecimento de água. 2. Hidrômetro. 3. Ar em  
tubulações. 4. Micromedição. 5. Produção intelectual. I.  
Nascimento, Elson Antonio do, orientador. II. Nascimento,  
Gabriel de Carvalho, coorientador. III. Universidade Federal  
Fluminense. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDD -

WILLIAM ALVES TAVARES

**SISTEMA DE MEDIÇÃO DE AR EM PONTOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Gestão, Produção e Meio Ambiente.

Aprovada em 21 de junho de 2018

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Elson Antônio do Nascimento, D. Sc. – Orientador  
UFF – Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Gabriel de Carvalho Nascimento, D. Sc. – Orientador  
UFF – Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Paulo Luiz da Fonseca, D. Sc.  
UFF – Universidade Federal Fluminense

---

Prof. Marcelo de Miranda Reis, D. Sc.  
IME – Instituto Militar de Engenharia

Niterói  
2018

A Jesus Cristo, o Mestre dos Mestres.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por tudo o que Ele é para mim.

Aos meus pais, por serem meus exemplos e por sempre me incentivarem a estudar e a crescer em todas as áreas da minha vida.

À Natalia e à Luciana, pelo apoio e incentivo que me deram.

Aos meus professores Elson e Gabriel, pelas orientações, pela paciência e disposição nas explicações e por me incentivarem nos trabalhos realizados, tanto na Graduação quanto no Mestrado.

Aos estudantes de Engenharia, João, Jorge e Lian, pela colaboração na realização dos testes no Laboratório de Hidráulica da UFF.

Ao Sr° Paulo, técnico de Laboratório da UFF, pela prontidão em ajudar nos trabalhos em laboratório.

Ao Sr° Carlos, técnico do Núcleo de Estudos em Biomassa e Gerenciamento de Águas (NAB) da UFF, pela ajuda na confecção do reservatório de ar.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

Os hidrômetros, instrumentos destinados à medição de volumes de água, são instalados nas ligações residenciais, comerciais e industriais para quantificar o fornecimento e possibilitar a cobrança pelo serviço prestado pelas concessionárias. A presença de ar em redes de abastecimento de água pode ocorrer por diversos motivos, inclusive propositalmente, visando equilibrar ou corrigir pressões negativas em trechos das tubulações. Quando estes volumes de ar não são devidamente eliminados dos troncos principais da rede, através de válvulas ventosas estrategicamente instaladas, a expulsão do ar pode ocorrer nas ligações ou pontos de abastecimento, representando risco de o volume de ar ser registrado pelos hidrômetros, juntamente com o volume de água fornecido. Por conta disso, surge por parte de consumidores uma dúvida em relação a quantidade de água efetivamente fornecida e o correspondente valor cobrado, que pode estar majorado em função da eventual contabilização de volume de ar. Isto tem resultado em frequentes reclamações e disputas judiciais entre consumidores e concessionárias de abastecimento de água. Esse problema tem sido observado nas principais capitais brasileiras, ocorrendo também em outras grandes cidades de países como México, Peru e Porto Rico. Além disso, alguns consumidores de água no Brasil recorrem à utilização de dispositivos denominados bloqueadores de ar, visando redução em suas contas. Entretanto, não há regulamentação nem comprovação da eficácia do uso desses equipamentos. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema de medição do volume de ar presente em redes hidráulicas, utilizando-se dispositivos de baixo custo, constituído de hidrômetros com saída pulsada e válvulas ventosas. Os testes foram desenvolvidos em laboratório, visando a futura instalação do equipamento em pontos de fornecimento de água. Os resultados demonstraram que a fração de ar registrada pelos hidrômetros depende da vazão. Para vazões de ar menores que 430 L/h os volumes registrados nos hidrômetros mostraram-se irrelevantes. Entretanto, à medida em que as vazões de ar aumentam, a fração de ar que é registrada nos hidrômetros em relação ao volume de ar presente na rede, também aumenta. Este índice ultrapassa a 75% para vazões de ar superiores a 1.600 L/h. Para analisar o efeito dos registros de ar nos hidrômetros durante o processo de esvaziamento da rede, foi considerado também o fluxo no sentido inverso no hidrômetro, constatando-se que as porcentagens de volumes registrados nesta condição são inferiores aos observados no sentido normal de abastecimento, e que ocorre registro nulo quando a vazão de ar é inferior a 750 L/h. Isso elimina a chance de compensação do ar medido pelo hidrômetro durante o processo de abastecimento, sobretudo, de forma integral. Considerando-se que os hidrômetros utilizados têm vazão nominal de 1.500 L/h, conclui-se que o sistema testado em laboratório se mostra adequado para a quantificação de eventuais volumes de ar durante o fornecimento de água em ligações residenciais. Tendo em vista a inexistência de equipamentos ou regulamentação para a medição de presença de ar em tubulações, detalhes sobre o equipamento desenvolvido e parâmetros relacionados a custos também são apresentados na presente pesquisa.

**Palavras-chave:** abastecimento de água, hidrômetros, ar em tubulações, micromedição.

## ABSTRACT

Water meters, instruments for the measurement of volumes of water, are installed in residential, commercial and industrial connections to quantify the supply and enable the collection by the service provided by the concessionaires. The presence of air in water supply networks may occur for a variety of reasons, including deliberately, to balance or correct negative pressures in stretches of pipelines. When these air volumes are not properly eliminated from the main trunks of the network through strategically installed air valves, air expulsion can occur at the connections or supply points, posing a risk of the volume of air being registered by the water meters along with the volume of water supplied. Because of this, a doubt arises from consumers regarding the quantity of water actually supplied and the corresponding amount charged, which may be increased depending on the possible accounting of air volume. This has resulted in frequent claims and legal disputes between consumers and water concessionaires. This problem has been observed in the main Brazilian capitals, occurring also in other major cities of countries such as Mexico, Peru and Puerto Rico. In addition, some water consumers in Brazil resort to the use of devices called air blockers, aimed at reducing their bills. However, there is no regulation or proof of the effectiveness of the use of such equipment. The objective of the present work was to develop a system for measuring the volume of air present in hydraulic networks, using low cost devices, consisting of pulsed output water meters and air valves. The tests were developed in the laboratory, aiming at the future installation of the equipment in points of water supply. The results showed that the fraction of air registered by the water meters depends on the flow rate. For airflows less than 430 L/h, the volumes registered in the water meters were irrelevant. However, as air flows increase, the fraction of air that is recorded in the water meters in relation to the air volume present in the network, also increases. This index exceeds 75% for airflows above 1,600 L / h. In order to analyze the effect of the air registers in the water meters during the network emptying process, the flow in the reverse direction was also considered in the water meter, being verified that the percentages of volumes registered in this condition are inferior to those observed in the normal direction of supply, and that null recording occurs when the airflow is less than 750 L/h. This eliminates the chance of compensating the air measured by the water meter during the filling process, especially, in an integral way. Considering that the water meters used have a nominal flow of 1,500 L/h, it is concluded that the system tested in the laboratory is suitable for the quantification of possible air volumes during the water supply in residential connections. Due to the lack of equipment or regulation for the measurement of air presence in pipes, details on the equipment developed and parameters related to costs are also presented in the present research.

**Keywords:** water supply, water meters, air in pipes, micro measurement.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS	15
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
2.1	RECURSOS HÍDRICOS E ASPECTOS LEGAIS	17
2.2	COBRANÇA PELO CONSUMO DE ÁGUA	19
2.2.1	Contexto histórico da medição de volumes de água	19
2.2.2	Concessionárias de abastecimento de água	23
2.3	HIDRÔMETROS	24
2.3.1	Principais documentos relativos e classificações dos hidrômetros	27
2.3.2	Irregularidades na utilização dos hidrômetros	34
2.3.3	Novas tecnologias de medição	35
2.4	PRESENÇA DE AR NAS TUBULAÇÕES DE FORNECIMENTO DE ÁGUA	39
2.4.1	Escoamentos monofásico e bifásico	41
2.4.2	Equipamentos de eliminação de ar	42
2.5	ESTUDOS ANTERIORES SOBRE EFEITOS DO AR NA HIDROMETRIA	44
<b>3</b>	<b>VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE HIDRÔMETROS</b>	<b>49</b>
3.1	ESCOAMENTO DE ÁGUA	50
3.1.1	Aferição dos hidrômetros	51
3.1.2	Medição do volume de água com escoamento no sentido inverso	53
3.2	ESCOAMENTO DE AR	54
3.2.1	Medição do volume de ar com escoamento no sentido do abastecimento	55
3.2.2	Medição do volume de ar com escoamento no sentido inverso	57
<b>4</b>	<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO DE AR NO FORNECIMENTO DE ÁGUA</b>	<b>60</b>
4.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA	60
4.2	METODOLOGIA	61
4.2.1	Teste com escoamento de água	61
4.2.2	Teste com escoamento de ar	62
4.2.3	Teste com escoamento bifásico (água e ar)	64
4.3	RESULTADOS E ANÁLISES	65
4.3.1	Teste com escoamento de água	65
4.3.2	Teste com escoamento de ar	66
4.3.3	Teste com escoamento bifásico (água e ar)	67
4.4	UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUÍNO	68
4.5	ESTIMATIVA DE CUSTO	72
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>74</b>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de cobrança da água consumida no Rio de Janeiro no ano de 1909 .....	20
Figura 2 - Exemplo de cobrança da água consumida no Rio de Janeiro (Distrito Federal à época) no ano de 1932 .....	21
Figura 3 - Exemplo de cobrança da água consumida no Rio de Janeiro no ano de 1968 .....	22
Figura 4 - Forma original do medidor Woltman .....	25
Figura 5 – Hidrômetro de Thomas Kennedy (à esquerda) e hidrômetro de Worthington (à direita).....	26
Figura 6 - Mostrador misto de hidrômetro .....	29
Figura 7 - Hidrômetro de disco nutante (vista em corte vertical).....	30
Figura 8 - Hidrômetro de êmbolo rotativo (vista em corte da câmara cilíndrica).....	31
Figura 9 - Hidrômetros Woltmann, com turbina horizontal (a) e com turbina vertical (b).....	32
Figura 10 - Representação simplificada de um hidrômetro unijato (vista superior em corte horizontal).....	33
Figura 11 - Representação simplificada de um hidrômetro multijato (vista lateral em corte vertical).....	33
Figura 12 - Medidor ultrassônico .....	36
Figura 13 – Esquema do funcionamento do medidor eletromagnético .....	37
Figura 14 - Hidrômetros eletrônicos.....	38
Figura 15 - Hidrômetro convencional (à esquerda) e hidrômetro com saída pulsada (à direita) .....	39
Figura 16 - Tipos de escoamento bifásico .....	41
Figura 17 - Válvula ventosa de dupla função (a) e válvula ventosa de tríplice função (b) .....	43
Figura 18 - Esquemático do funcionamento de um bloqueador de ar fechado (a) e aberto (b).....	43
Figura 19 - Aparato utilizado.....	46
Figura 20 - Perda de carga $\Delta H$ versus vazão $Q$ nos bloqueadores avaliados.....	47
Figura 21 – Modelos dos hidrômetros utilizados. Fabricados por: Energyrus (A), Lao (B) e Saga (C).....	50
Figura 22 - Bancada hidráulica do laboratório da UFF utilizada no trabalho .....	51
Figura 23 - Esquema para aferição dos hidrômetros .....	52
Figura 24–Volume de água medido $V_{med}$ (%) versus vazão $Q$ , com escoamento no sentido inverso .....	54
Figura 25 - Esquema para medição do volume de ar registrado pelos hidrômetros.....	55
Figura 26 - Volume de ar medido $V_{med}$ (%) versus vazão $Q$ , escoamento no sentido do abastecimento. ....	56
Figura 27–Volume de ar medido $V_{med}$ (%) versus vazão $Q$ , escoamento no sentido inverso... ..	58
Figura 28 - Sistema de medição de ar.....	61
Figura 29 - Esquema para o teste de escoamento de água no sistema desenvolvido .....	62
Figura 30 - Esquema para o teste de escoamento de ar no sistema desenvolvido.....	63
Figura 31 - Reservatório de ar desenvolvido.....	64
Figura 32 - Esquema para o teste com escoamento bifásico no sistema de medição de ar.....	64

Figura 33 - Aparato para teste com escoamento bifásico.....	65
Figura 34 - Escoamento bifásico tipo borbulhado, observado à montante do sistema de medição.....	67
Figura 35 - Escoamento bifásico tipo estratificado, observado à jusante do sistema de medição .....	67
Figura 36 - Esquemático da utilização do Arduino com o sistema de medição de ar .....	68
Figura 37 - Ligações entre os componentes eletrônicos.....	69
Figura 38 - Esquemático das ligações entre hidrômetros e a placa Arduino.....	70
Figura 39 - Fluxograma do funcionamento do código embarcado no Arduino .....	71

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tarifa média praticada dos prestadores de serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário participantes do SNIS em 2016, segundo região geográfica e Brasil...	22
Tabela 2 - Principais documentos normativos relativos a hidrômetros no Brasil .....	27
Tabela 3 - Classificações e tipos de hidrômetros mais utilizados .....	28
Tabela 4 - Irregularidades apresentadas na utilização de hidrômetros .....	35
Tabela 5 - Hidrômetros utilizados na realização dos testes.....	49
Tabela 6 - Erro máximo admissível para cada vazão. ....	51
Tabela 7 - Aferição dos hidrômetros .....	53
Tabela 8 - Medições de volumes de água utilizando o sistema desenvolvido .....	66
Tabela 9 - Medições de volumes de ar utilizando o sistema desenvolvido.....	66
Tabela 10 – Custo estimado do sistema de medição com armazenamento de dados e transmissão via internet (Modelo 1) .....	72
Tabela 11 – Custo estimado do sistema de medição com armazenamento de dados e transmissão via sinal de celular (Modelo 2) .....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
AWWA	American Water Works Association
HD	Hidrômetro
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Registrada
OIML	Organização Internacional de Metrologia Legal
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

## LISTA DE SÍMBOLOS

$DN$	Diâmetro Nominal
$\Delta H$	Perda de carga
$\rho$	Massa específica
$p$	Pressão
$Q$	Vazão
$Q_n$	Vazão nominal, a maior vazão na condição de utilização dos hidrômetros
$Q_{max}$	Vazão máxima em ensaios de aprovação de hidrômetros
$Q_t$	Vazão de transição em ensaios de aprovação de hidrômetros
$Q_{min}$	Vazão mínima em ensaios de aprovação de hidrômetros

## 1 INTRODUÇÃO

A água é elemento fundamental à vida. Ela está presente diretamente no consumo humano, na preparação dos alimentos, na higiene corporal, na agricultura, na indústria e em diversas outras atividades. Quando distribuída em quantidade suficiente e com qualidade dentro dos padrões de potabilidade aceitáveis, a água proporciona saúde aos consumidores.

Atualmente, boa parte da população reside em cidades. Esse modo de vida exige que a água para consumo seja captada em um determinado local para que, posteriormente, seja distribuída às pessoas, dentro de condições sanitárias, de vazão e pressão convenientes, a cada um dos diversos pontos de consumo da cidade ou do setor de abastecimento. Essa distribuição de água é possível graças a um sistema formado por tubulações, acessórios, reservatórios e bombas. (PORTO, 2006, p.169).

Segundo a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) referente a 2017, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), cerca de 86,7% dos domicílios brasileiros são atendidos pelos serviços básicos de fornecimento de água através de uma rede de distribuição (IBGE, 2018). Vale ressaltar que existem outras formas de acesso ao consumo de água, como poços artesianos, fontes ou nascentes.

Atualmente, numa rede de distribuição de água, os hidrômetros são os instrumentos de medição de volume mais utilizados para a determinação do consumo de água. É através desses instrumentos que as concessionárias de água - empresas encarregadas de administrar o abastecimento de água para a população, por meio de outorga do governo – verificam o consumo de água e, conseqüentemente, emitem a cobrança do mesmo aos consumidores. Segundo Macintyre (2013, p.3), “a instalação do hidrômetro é requisito para uma cobrança de valor justo para a água consumida, além de ser fator importante de economia no gasto”.

Porém, já é conhecido o fato de que é possível a entrada de ar nas tubulações de água. Sua ocorrência pode se dar por diversos motivos, sendo os principais: enchimento e esvaziamento das adutoras, parada de bombas, manobra de válvulas e baixo nível de água nos reservatórios (TSUTIYA, 2005, p. 176). Outra causa de entrada de ar na rede de distribuição de água é a utilização de válvulas ventosas, que são instrumentos que permitem a entrada e a eliminação de ar da rede de abastecimento.

A respeito disso, existe uma suspeita por parte dos consumidores de que os hidrômetros destinados a medirem seus consumos de água podem estar medindo também os eventuais volumes de ar presentes na tubulação, tornando, dessa forma, injusta a cobrança do

serviço de fornecimento de água. Os hidrômetros são instrumentos utilizados com o propósito de se medir o volume de água, porém em razão de não fazerem distinção entre os fluidos que passam por eles, podem medir também eventuais volumes de ar.

Além disso, no Brasil, as redes de distribuição de água são submetidas a frequentes manobras de válvulas, correspondendo a alternância entre enchimentos e esvaziamentos da rede. Com isso, os fluidos, ar ou água, que passam pelo hidrômetro também têm seus sentidos de escoamento alternados. Em relação aos hidrômetros, quando ocorre enchimento da rede, o escoamento se dá no sentido do abastecimento e, por ocasião do esvaziamento da rede, o escoamento se dá no sentido inverso. Presume-se que essa alternância de sentido no escoamento, em condições específicas, pode ocorrer de forma compensadora em relação ao registro de ar, de maneira a não influir no volume e de água efetivamente fornecido.

Como formas potenciais de eliminação do ar das tubulações, há a própria válvula ventosa e equipamentos denominados bloqueadores de ar. Os fabricantes desses bloqueadores informam que, com sua utilização, é possível redução de até 50% nas contas de água (AQUAMAX, 2018). Porém, não há qualquer regulamentação desses equipamentos nem comprovação de que essa redução ocorra de forma geral (INMETRO, 2018).

Diante disso, a presente pesquisa baseou-se no desenvolvimento de um sistema capaz de medir o volume de ar eventualmente presente em redes de abastecimento de água. Os testes foram realizados em laboratório, visando posterior instalação em ligações domiciliares.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema de baixo custo para medição de ar eventualmente presente nas redes de fornecimento de água, visando identificar possíveis sobremedições ou cobranças indevidas. Como objetivos específicos, tem-se:

- Testar um total de seis hidrômetros quanto a precisão na medição de volumes de água, considerando o escoamento no sentido direto do abastecimento e no sentido inverso.
- Desenvolver os testes citados no item anterior considerando a presença de ar, a fim de identificar a influência no valor total medido pelos hidrômetros.
- Testar, em bancada, um sistema formado por dois hidrômetros intercalados por uma válvula ventosa de expulsão de ar, através da identificação dos volumes medidos em ambos os hidrômetros e do volume de ar eliminado pela válvula.

- Analisar a viabilidade de aplicação do sistema desenvolvido para posterior instalação em residências, visando a identificação de eventual volume de ar presente na rede e o seu respectivo registro nos hidrômetros.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos. O primeiro capítulo contém uma introdução ao tema, incluindo os objetivos do trabalho. No segundo capítulo é apresentada uma pesquisa sobre o uso de recursos hídricos e seus aspectos legais, formas de cobrança pelo uso desses recursos e os tipos de hidrômetros. Também é apresentado um estudo sobre a presença de ar em tubulações de fornecimento de água, equipamentos de eliminação de ar e alguns trabalhos correlatos.

No terceiro capítulo é realizada a verificação do comportamento de seis hidrômetros, em teste de bancada, nas situações de presença de água e de presença de ar, sendo que foram realizadas medições com o fluxo no sentido normal do abastecimento e no sentido inverso.

No quarto capítulo é apresentado o desenvolvimento do sistema de avaliação de presença de ar em redes de abastecimento de água, bem como testes em bancada e estimativa de custos de sua confecção. As conclusões do presente trabalho e sugestões para continuidade do mesmo encontram-se no quinto capítulo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo é apresentada a revisão bibliográfica que dá base ao desenvolvimento do sistema de avaliação da presença de ar em redes de abastecimento de água. Inicialmente são abordados aspectos legais relativos aos recursos hídricos. Em seguida, são apresentadas algumas formas de cobrança pelo consumo de água e os tipos de hidrômetros mais utilizados, bem como novas tecnologias na hidrometria. Também são apresentados estudos relacionados à presença de ar nas redes de abastecimento de água, as condições que propiciam este fenômeno, e equipamentos de eliminação de ar das tubulações.

### 2.1 RECURSOS HÍDRICOS E ASPECTOS LEGAIS

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2018), o território brasileiro contém aproximadamente 12% de toda a água doce presente no planeta Terra, distribuídas em 200 mil microbacias. Além disso, 60% da bacia Amazônica (a mais extensa do mundo) pertencem ao Brasil. Todo esse potencial hídrico é capaz de prover um volume de água por pessoa 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Apesar dessa abundância, a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, a Lei Maior do país, não prevê expressamente proteção ao direito de acesso à água potável nos artigos específicos dos direitos e garantias fundamentais, art. 5º a 17. Entretanto, os recursos hídricos brasileiros não são inesgotáveis. De acordo com a Agência Nacional de Águas (2014), o excesso do uso devido ao crescimento populacional e a poluição dos mananciais configuram-se como os principais motivos de redução da disponibilidade desses recursos.

Dentro deste contexto, em 08 de janeiro de 1997 foi decretada a Lei Federal nº 9.433, conhecida como “Lei das águas”, a qual instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), bem como definiu seus fundamentos, objetivos e diretrizes (BRASIL, 1997). Esta lei estabelece, logo no artigo primeiro, seus fundamentos:

Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

Por ser um bem de domínio público, a água é administrada pelo Poder Público. Nesse entendimento, a palavra domínio não é sinônima de apropriação, mas sim de gerenciamento (SOUZA, 2009). A Constituição Federal de 1988, em seus art. 20 inciso III e art. 26 inciso I, define quais são os bens hídricos da União e dos Estados da Federação:

Art. 20. São bens da União:

III - os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais.

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras públicas da União.”

Conforme Souza (2009) explica, os termos “bens da União” e “bens dos Estados” não transforma o Poder Público em proprietário das águas, mas sim em gestor desse bem em benefício de toda a população. Essa ideia é corroborada pelo art. 99 inciso I do Código Civil de 2002: “Art. 99. São bens públicos: I - os de uso comum do povo, tais como rios, mares, estradas, ruas e praças”. Portanto, a água, por ser um bem de domínio público, não pertence a uma entidade privada ou a uma entidade pública, mas sim a toda uma coletividade.

Embora os recursos hídricos sejam abundantes no país, as perdas de água nos sistemas de abastecimento são elevadas. No Brasil, a média das perdas no ano de 2016 foi de 38,1%, sendo a região Norte a apresentar o pior índice, 47,3%, e a região Sudeste o melhor, 34,7%. O conjunto dessas perdas é formado pelas perdas aparentes, que se relacionam a erros de medição, a fraudes e a ligações clandestinas, e pelas perdas físicas, que se referem a toda água disponibilizada para distribuição, mas que não chega aos usuários (SNIS, 2018). Entretanto, essas perdas não levam em consideração os desperdícios dos recursos hídricos por parte dos usuários. Ou seja, além das perdas contabilizadas ao longo da distribuição, o mau uso da água é um fator que reduz ainda mais sua disponibilidade. Diante disso, como forma de incentivar o uso racional, a Lei Federal 9.433/97 considera a água como um bem finito e que possui valor econômico.

## 2.2 COBRANÇA PELO CONSUMO DE ÁGUA

### 2.2.1 Contexto histórico da medição de volumes de água

A necessidade de abastecer os agrupamentos humanos sempre esteve presente na história das civilizações. As sociedades sempre se desenvolveram próximas de cursos d'água. No tempo da Roma dos Césares, foram construídas várias obras de hidráulica com o objetivo de abastecimento para consumo humano. Na cidade de Segóvia, na Espanha, ainda funciona um aqueduto com mais de 10 km de extensão, construído na época de Cristo (CREDER, 2015, p.1).

A primeira tubulação de ferro fundido foi empregada em 1455 no Castelo de Dillenburgh na Alemanha, e em 1664 uma adutora de 22 km, também de ferro fundido, foi construída na França para abastecer o Palácio de Versailles. No Brasil, a primeira cidade a ter um sistema de abastecimento foi o Rio de Janeiro, que em 1723 teve seu primeiro aqueduto, aduzindo água do rio Carioca através dos arcos velhos até o chafariz público. Em 1750 foi construído o aqueduto do Carioca, com 13 km de extensão, através dos arcos novos. Em São Paulo, o primeiro chafariz público foi construído em 1744 e o primeiro projeto de adução e distribuição de água para a cidade, que até então era servida apenas pelos chafarizes públicos, foi elaborado em 1842 (AZEVEDO NETTO, 1984).

Com o advento dos sistemas de distribuição, foi possível a realização da cobrança pelo consumo da água. No Rio de Janeiro, desde o século XIX até meados do século XX, a cobrança do consumo da água distribuída à população passou por algumas mudanças em relação a critérios e procedimentos burocráticos. Uma das primeiras formas de cobrança de água utilizadas no país data de 1909 (Figura 1), de acordo com a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE, 2018).

Município de                       
distrito 4

№ 01037

RECEBEDORIA DO RIO DE JANEIRO

IMPOSTO DO CONSUMO D'AGUA

EXERCICIO DE 1909

SÉRIE                     

Contribuição . . . . . 54000

Multa de 10 por cento.                      \$                     

Mais 5 por cento . . . . .                      \$                     

Certifico que o Sr. Rosa Maria Paranhos  
deve a quantia de cinquenta e quatro mil  
imposto do consumo de penna d'agua concedida para uso do predio n. 57  
da rua d Bandeira

Recebedoria do Rio de Janeiro, 27 de Junho de 1909  
O Escriurário,

Recebi em 20 de                      de 1909  
O Fiel do Thesoureiro,

Figura 1 - Exemplo de cobrança da água consumida no Rio de Janeiro no ano de 1909  
Fonte: CEDAE (2018).

Nota-se que, em 1909, a cobrança era feita através da modalidade imposto. Segundo o art. 16 do Código Tributário Nacional (CTN), imposto “é o tributo cuja obrigação tem por fato gerador uma situação independente de qualquer atividade específica, relativa ao contribuinte”, ou seja, esse tributo incide independentemente da vontade do contribuinte. Já no ano de 1932 a cobrança pelo consumo de água era feita sob a forma de taxa (Figura 2). Taxa, de acordo com art. 77 do CTN, é um tributo “que tem como fato gerador o exercício regulador do poder de polícia, ou a utilização efetiva e potencial, de serviço público específico e divisível”. Nota-se que a mudança no tipo de tributo conferiu ao Estado uma característica de prestador de serviços públicos no que se refere ao fornecimento de água.



Figura 2 - Exemplo de cobrança da água consumida no Rio de Janeiro (Distrito Federal à época) no ano de 1932  
 Fonte: CEDAE (2018).

As cobranças de consumo de água apresentadas na Figura 1 e na Figura 2 são feitas por meio *depena d'água*. Segundo Fonseca e Prado Filho (2008), pena d'água era um critério estabelecido pelo poder público a partir de meados do século XIX para o fornecimento de água a particulares. Chama a atenção o fato de que a cobrança não era feita por vazão ou volume de água consumida, mas sim pelas dimensões da seção circular da tubulação que chegava às residências. Já em 1968, o hidrômetro passou a ser mais empregado para a determinação do valor cobrado pelo consumo de água (Figura 3).

CONSUMO DE ÁGUA - HIDRÔMETRO										HIDRÔMETRO		
COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS DA GUANABARA										Empreita Estadual de Águas de Guanabara		
ENDEREÇO DO CONSUMIDOR				CC	D	NOME DO CONSUMIDOR			MUNICÍPIO AFILIADO			
R. MAJOR AVILA 132A				11		JULIO ARAUJO MENDES			IND 1			
MATRICULA	CCD. LRA.	ARTEMA	QUILÔMETRO	DATA ANTERIOR	LEITURA ANTERIOR	DATA ATUAL	LEITURA ATUAL	LITROS MEDIDOS				
35507	7590	4	04/68	29/04/68	***	02/05/68	***	***				
CONSUMO ANTES	CONSUMO	N.º DE DIAS	ANEXO	TAXA	QUOTA PROVISÓRIA	TOTAL A PAGAR	MENSURADO					
1		94	0,03	NCR	31,49	NCR	3,14	NCR***34,60				
							TOTAL A PAGAR		MENSURADO			
							NCR		34,60		25/10/68	
RECIBO - AUTENTICAÇÃO MECÂNICA										CARIMBO DE CAIXA		

Figura 3 - Exemplo de cobrança da água consumida no Rio de Janeiro no ano de 1968  
Fonte: CEDAE (2018).

A utilização desse dispositivo proporcionou uma cobrança mais justa, uma vez que a medição do consumo é feita pelo volume de água fornecido aos consumidores e, conseqüentemente, a conta de água a ser paga é proporcional ao volume consumido.

A Tabela 1 apresenta as tarifas médias praticadas pelos prestadores de serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no ano de 2016 no Brasil, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Ressalta-se que, para o cálculo da tarifa, considera-se também o volume de esgoto produzido em cada unidade, sendo estabelecido como 80% do volume de água consumida pela norma NBR-9649 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Tabela 1 - Tarifa média praticada dos prestadores de serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário participantes do SNIS em 2016, segundo região geográfica e Brasil

Região	Tarifa média em 2016 (R\$/m <sup>3</sup> )
Norte	3,17
Nordeste	3,30
Sudeste	3,09
Sul	4,03
Centro-Oeste	4,40
<b>Brasil</b>	<b>3,36</b>

Fonte: SNIS (2018).

## 2.2.2 Concessionárias de abastecimento de água

A intervenção do Estado no setor de saneamento básico, através de políticas públicas, ocorre a partir dos anos 1930 no Brasil. Até então, pouca preocupação havia com relação a essa questão. Nesse período, os serviços de distribuição de energia elétrica, gás, transporte urbano e ferroviário eram prestados por empresas estrangeiras, por meio de concessões públicas. Vale destacar que a primeira cidade brasileira a ter abastecimento de água foi Recife, em 1838, com os serviços da empresa britânica Beberibe Water Company (GUIMARÃES, 2012).

A iniciativa privada passou a atuar no setor de abastecimento de água entre os séculos XIX e XX, por meio de concessões. Eram responsáveis pela distribuição de chafarizes e bicas públicas. Entretanto, privilegiaram os locais mais nobres, gerando insatisfação por parte da população. Por conta desta insuficiente abrangência e pela qualidade dos serviços prestados, o Estado passou a assumir a responsabilidade pelo abastecimento de água, através de uma série de instrumentos estabelecidos pelo Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934, mais conhecido como Código das Águas (GUIMARÃES, 2012).

Em 1971, o Banco Nacional de Habitação (BNH) instituiu o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), visando melhorar os serviços de saneamento básico para a população brasileira. Através desse plano, no ano de 1973, foi criada a Sabesp, empresa que detém a concessão dos serviços públicos de saneamento básico no Estado de São Paulo (SABESP, 2018). Em 1975, foi fundada a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), através da integração de outras empresas de saneamento que atuavam no estado desde os anos 1940 e que passaram por algumas modificações estruturais ao longo do período (CEDAE, 2018).

No entanto, a entrada do Estado no setor de saneamento não significou imediata melhoria da situação em todo o país. De acordo com Turolla (2002), não havia um padrão organizado para a distribuição dos serviços de água e esgoto sanitário em diferentes partes do território brasileiro. Ainda segundo Turolla, o ritmo de urbanização da economia brasileira, principalmente nas décadas de 1960 e 1970, impôs uma pressão aos sistemas de saneamento e causou uma deterioração nos índices de cobertura dos serviços prestados. Aliado a isso, na década de 1990, a partir da implementação de uma política de ajuste fiscal, o governo federal suspendeu novos financiamentos para alguns setores, inclusive o de saneamento. Diante disso, a privatização dos serviços de saneamento básico passou a ser estimulada pelo governo.

A Lei Federal 11.445/07 foi criada com o objetivo de estabelecer as diretrizes nacionais para o saneamento básico, incluindo o abastecimento de água. Essa lei definiu os Municípios e o Distrito Federal como os titulares dos serviços públicos de saneamento básico que têm o poder de delegar a organização, a regulação, a fiscalização e a prestação desse trabalho, fazendo com que a responsabilidade do fornecimento de água passasse do âmbito estadual para o municipal. A lei também trata dos aspectos econômicos e sociais, definindo diretrizes para a instituição da cobrança pelos serviços prestados.

No ano de 1995, em Limeira, ocorreu a primeira concessão de uma cidade de médio porte (cerca de 250 mil habitantes) registrada no país. Os serviços de água e esgotos da cidade foram concedidos à empresa Águas de Limeira por um período de 30 anos (VARGAS; LIMA, 2004). Em 1998, foi criado o Grupo Águas do Brasil, que hoje é um dos maiores no setor de concessões privadas na prestação de serviços de abastecimento de água. Nesse ano foram criadas as concessionárias Águas do Imperador, em Petrópolis, e Águas de Juturnaíba, em Araruama, Saquarema e Silva Jardim. No ano seguinte, as concessionárias Águas do Paraíba, em Campos dos Goytacazes, e Águas de Niterói foram adicionadas ao grupo. Além destas, outras nove concessionárias fazem parte da empresa (GRUPO ÁGUAS DO BRASIL, 2018).

Apesar desse atual momento de privatizações dos serviços de saneamento básico vivenciado no Brasil, ocorre na Europa um processo de devolução desses serviços à gestão pública. Uma pesquisa realizada em onze organizações, em sua maioria europeias, aponta que 267 cidades, incluindo Paris e Berlim, reestatizaram o setor de saneamento. De acordo com Carneiro (2017), a reversão ocorre por diversos fatores, entre os quais serviços inflacionados, ineficientes e com investimentos insuficientes.

Independentemente da instituição responsável pela distribuição de água, estatal ou privada, a principal forma de cobrança pelo consumo de água é calculada com base nas medições realizadas pelos hidrômetros.

### 2.3 HIDRÔMETROS

O hidrômetro é um dispositivo mecânico cujo principal objetivo é a medição da quantidade de água fornecida aos usuários, através de tubulações de uma rede de distribuição (TSUTIYA, 2014, p. 543). A finalidade primordial da quantificação da água consumida é determinar o valor a ser pago pela prestação dos serviços de fornecimento.

A invenção do hidrômetro é atribuída à filósofa, matemática e astrônoma Hipátia de Alexandria, no século IV (FERNANDES, 2006 apud RODRIGUES et al., 2017). Porém, só a partir do final do século XVIII medidores modernos começaram a ser desenvolvidos. Em 1790, Benjamin G. Hoffman publicou em Hamburgo, Alemanha, a descrição de uma forma de medidor de água inventado por Reinhard Woltman (Figura 4).

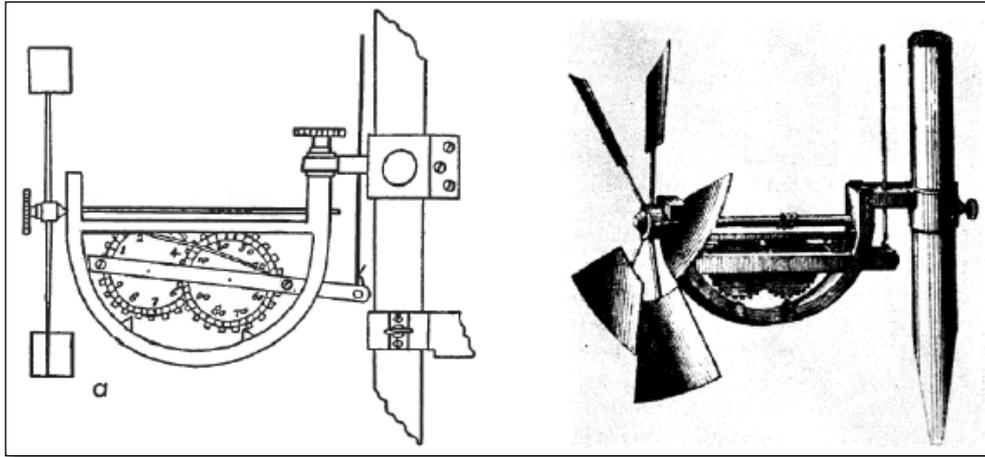


Figura 4 - Forma original do medidor Woltman  
Fonte: Crainic (2012).

Em 1824, Thomas Kennedy, com ajuda do relojoeiro John Cameron, criou um hidrômetro de pistão único (Figura 5). Em seu sistema, a água que entra no medidor é dirigida por uma válvula em um cilindro de volume conhecido. A ascensão e queda do pistão, além de expelir as quantidades medidas de água, também impulsiona um mecanismo de contagem e mostradores. Esse tipo de hidrômetros era um dos mais usados na Inglaterra. Outro hidrômetro criado nesta época, o medidor original de Worthington (Figura 5) consiste em dois cilindros e êmbolos com orifícios de entrada e saída. São dispostos de tal maneira que a água em um cilindro é descarregada pelo pistão, ao mesmo tempo em que outro cilindro é cheio. Os medidores de água Worthington eram amplamente conhecidos nos Estados Unidos (CRAINIC, 2012).

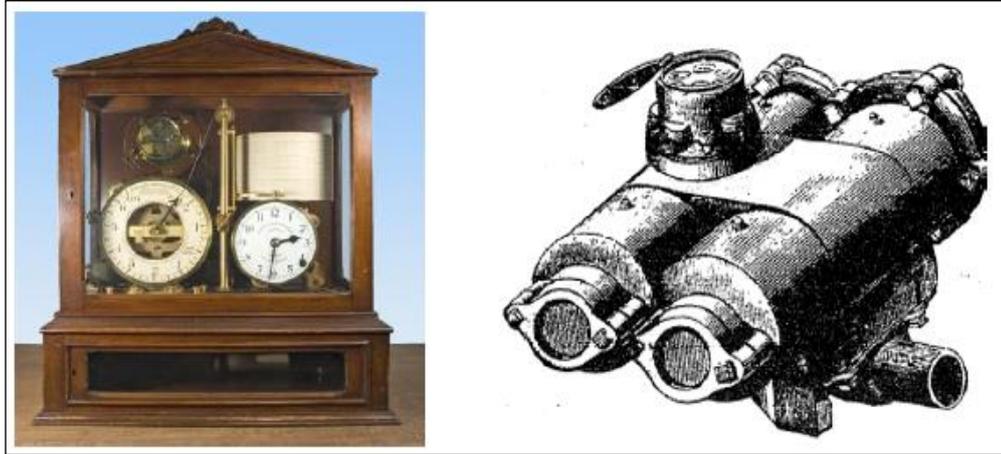


Figura 5 – Hidrômetro de Thomas Kennedy (à esquerda) e hidrômetro de Worthington (à direita)  
Fonte: Crainic (2012).

Os hidrômetros do tipo multijato foram projetados e inicialmente produzidos na Alemanha em 1867, por Siemens-Halske. Na década de 1930, estes hidrômetros já eram exportados para a América Latina e, desde a década de 1960, estão disponíveis para a indústria dos Estados Unidos. Já entre 1887 e 1892 começaram a ser emitidas as primeiras patentes dos hidrômetros de disco nutante. (CRAINIC, 2012)

No Brasil, as primeiras instalações de hidrômetros, como forma de verificar o consumo de água, ocorreram no ano de 1898, após entrar em vigor o Decreto nº 2.794 de 13 de janeiro de 1898. Com sua publicação original, o artigo 2º deste decreto estabeleceu o seguinte:

Art. 2º Os estabelecimentos de educação, os de beneficencia e respectivos hospitaes, as congregações civis ou religiosas e casas de saude, que actualmente não gosam de isenção das taxas acima, e bem assim as estalagens, pagarão, segundo o consumo verificado por hydrometro, à razão de 100 réis por metro cubico; as casas de banhos, as cocheiras e quaesquer estabelecimentos em que o consumo seja proveniente de uso industrial, pagarão, pelo mesmo modo, á razão de 150 réis por metro cubico.

Segundo Diniz (2015), 1 Real (de réis), moeda utilizada na época da publicação do decreto supracitado, equivale a aproximadamente R\$ 0,123. Ressalta-se que essa conversão por mais próxima que seja, não é exata. Entretanto, utilizando essa equivalência, verifica-se que o valor do metro cúbico adotado na época equivaleria atualmente a R\$ 12,30 para estabelecimentos de educação, igrejas e hospitais, e a R\$ 18,45 para indústrias,

aproximadamente. Como comparativo, no ano de 2016 a tarifa média praticada pelas prestadoras de serviço de abastecimento de água no Brasil foi de R\$ 3,36/m<sup>3</sup> (Tabela 1). Logo, verifica-se que o preço cobrado pelo consumo de água naquela época era cerca de 4 a 6 vezes mais caro do que o praticado atualmente.

### 2.3.1 Principais documentos relativos e classificações dos hidrômetros

A Tabela 2 apresenta os principais documentos normativos que baseiam os estudos e trabalhos envolvendo hidrômetros no Brasil.

Tabela 2 - Principais documentos normativos relativos a hidrômetros no Brasil

<b>Órgão</b>	<b>Documento</b>	<b>Data</b>	<b>Descrição</b>
INMETRO	Portaria n° 246	17/10/2000	que aprova o regulamento técnico metrológico para hidrômetros de vazão nominal até 15 m <sup>3</sup> /h
ABNT	Norma Técnica NBR NM n° 212	11/1999	que define a terminologia, especificação, e método de ensaio para hidrômetros de vazão nominal até 15m <sup>3</sup> /h
ABNT	Norma Técnica NBR n° 14.005	11/1997	que define terminologia, especificação e método de ensaio para hidrômetros de vazão nominal desde 15 m <sup>3</sup> /h (DN 50mm) até 1.500 m <sup>3</sup> /h (DN 500mm)
ABNT	Norma Técnica NBR n° 8.194	10/1997	que define a padronização das dimensões e marcações da carcaça e do mostrador para hidrômetros de vazão nominal desde 0,6 m <sup>3</sup> /h (DN 15 mm) até 15 m <sup>3</sup> /h (DN 50mm)
OIML <sup>1</sup>	Regulamento R49	2000	hidrômetros destinados à medição de água fria
AWWA <sup>2</sup>	Manual M6	1986	que trata da seleção, instalação ensaios e manutenção de hidrômetros

OIML<sup>1</sup>: Organização Internacional de Metrologia Legal

AWWA<sup>2</sup>: American Water Works Association

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2014).

Segundo Tsutiya (2014, p.543), os hidrômetros mais utilizados são classificados de acordo com algumas características (Tabela 3):

Tabela 3 - Classificações e tipos de hidrômetros mais utilizados

<b>Classificação</b>	<b>Tipo</b>
Quanto ao tipo de transmissão	Mecânica
	Magnética
Quanto à disposição dos mecanismos	Relojoaria totalmente seca
	Relojoaria seca
	Relojoaria úmida
	Relojoaria úmida com totalizador imerso em meio próprio
Quanto ao tipo de mostrador	De ponteiros
	De cilindros ciclométricos
	Mistos
Quanto ao funcionamento da câmara de medição	Volumétricos
	Velocimétricos

Fonte: Adaptado de Tsutiya (2014).

Segundo a Portaria nº246 do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), dispositivo de transmissão é o componente que transfere o movimento do dispositivo sensor ao dispositivo totalizador. Existem dois tipos de dispositivo de transmissão: mecânica e magnética.

O dispositivo de transmissão mecânica é aquele que em que os movimentos são transferidos mecanicamente por um eixo que atravessa a placa que isola os dispositivos sensor e totalizador. Já no dispositivo de transmissão magnética os movimentos são transferidos por elementos magnéticos.

De acordo com Tsutiya (2014, p.546), os hidrômetros podem apresentar quatro tipos de mecanismos indicadores, ou “relojoarias”: totalmente seca, seca, úmida e úmida com totalizador imerso em meio próprio. Nos hidrômetros com relojoaria totalmente seca, a transmissão do movimento é feita por acoplamento magnético e todo o mecanismo é envolto numa câmara hermeticamente fechada, eliminando a possibilidade de qualquer contato da água com os componentes da relojoaria.

Os hidrômetros com relojoaria seca possuem uma placa separadora vedando o mecanismo de relojoaria das engrenagens, que geralmente ficam imersas na água. A

transmissão do movimento é feita por meio de um eixo protegido por uma prensa que impede a passagem da água.

Nos hidrômetros com relojoaria úmida, ou molhada, todo o sistema de medição fica imerso em água. Sua instalação é indicada para locais muito úmidos ou sujeitos a inundações. Os hidrômetros com relojoaria úmida e com totalizador imerso em meio próprio são similares aos hidrômetros de relojoaria molhada, diferenciando-se apenas pelos cilindros do totalizador que ficam protegidos por uma cápsula contendo uma solução lubrificante.

O mostrador dos hidrômetros pode ser de ponteiros, de cilindros ciclométricos ou misto. O mostrador misto (Figura 6) é composto tanto por ponteiros, que indicam as menores unidades de volume, quanto por cilindros ciclométricos, que registram as maiores unidades.

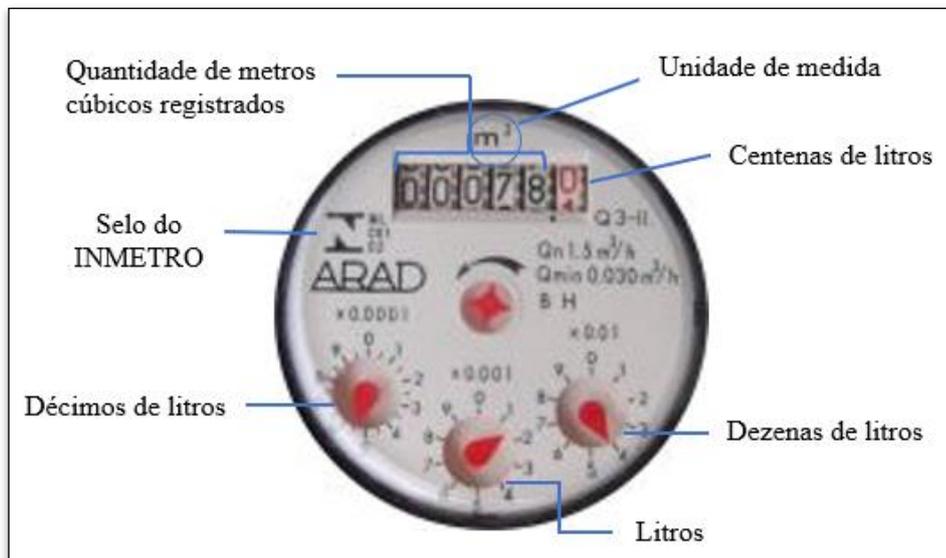


Figura 6 - Mostrador misto de hidrômetro

Fonte: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/copasa-orienta/conteudos/hidrometros-justica-acima-de-tudo>. Acesso em 31 maio 2018.

A indicação do valor em metros cúbicos e de seus múltiplos deve ser identificada pela cor preta e a indicação de seus submúltiplos pela cor vermelha, conforme a Portaria n°246 INMETRO. Além disso, sobre o mostrador, carcaça, tampa ou suporte da tampa, devem ser inseridas as seguintes informações: marca ou símbolo do fabricante, número indicativo da vazão máxima, sentido do fluxo, numeração sequencial de fábrica, código de modelo do fabricante, vazão nominal, unidade de medida do volume em  $m^3$ , marca de aprovação do modelo e indicação da classe metrológica.

De acordo com Macintyre (2013, p.3), os hidrômetros do tipo volumétrico se baseiam “na medição direta do número de vezes que uma câmara de volume conhecido é

enchida e esvaziada pela ação de um êmbolo dotado de movimento alternativo ou de um disco rotativo de forma especial”. Por necessitarem de que não haja detritos ou substâncias estranhas na água, sua utilização depende do uso de filtros.

Possuem maior sensibilidade e precisão e são indicados para instalações onde ocorrem baixas vazões (CREDER, 2015, p.35). Como exemplos de hidrômetros do tipo volumétrico, existem o hidrômetro de disco nutante e o de êmbolo rotativo.

O hidrômetro de disco nutante (Figura 7) possui uma câmara de medição com formato de setor esférico, com duas aberturas laterais separadas por um septo, e na qual há um disco circular que se movimenta com a passagem da água.

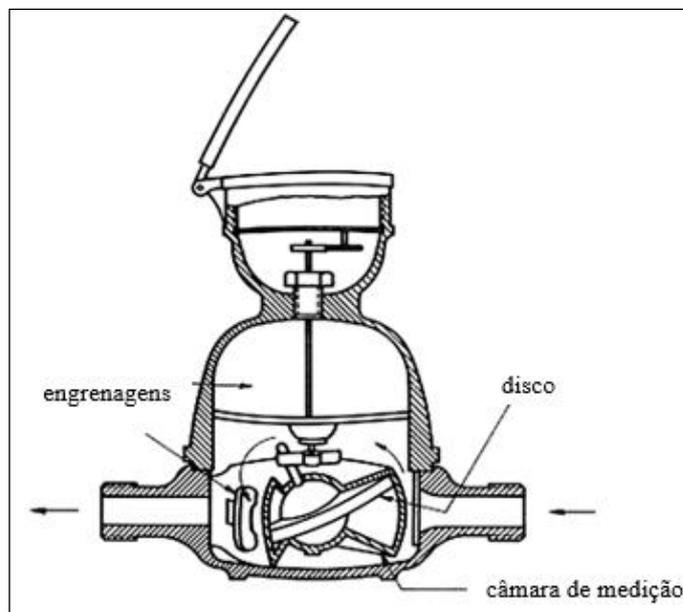


Figura 7 - Hidrômetro de disco nutante (vista em corte vertical)

Fonte: <https://consulteengenhoeletronico.wordpress.com/2016/07/19/metodologia-para-a-selecao-de-um-medidor-de-vazao-de-liquidos/>. Acesso em 31 maio 2018.

A extremidade de um eixo colocado no centro do disco e na face superior descreve um movimento circular que é transmitido pelas engrenagens para os dispositivos de conversão, de totalização e de indicação do aparelho (TSUTIYA, 2014). São pouco usados e apresentam grandes perdas de carga (CREDER, 2015, p.35).

O hidrômetro volumétrico de êmbolo rotativo (Figura 8) possui uma câmara cilíndrica com duas aberturas, uma de entrada e outra de saída da câmara, separadas em projeção vertical por uma placa divisora. Um êmbolo movimenta-se com a passagem da água, proporcionando enchimentos e esvaziamentos de espaços relativos que se formam no interior da câmara.

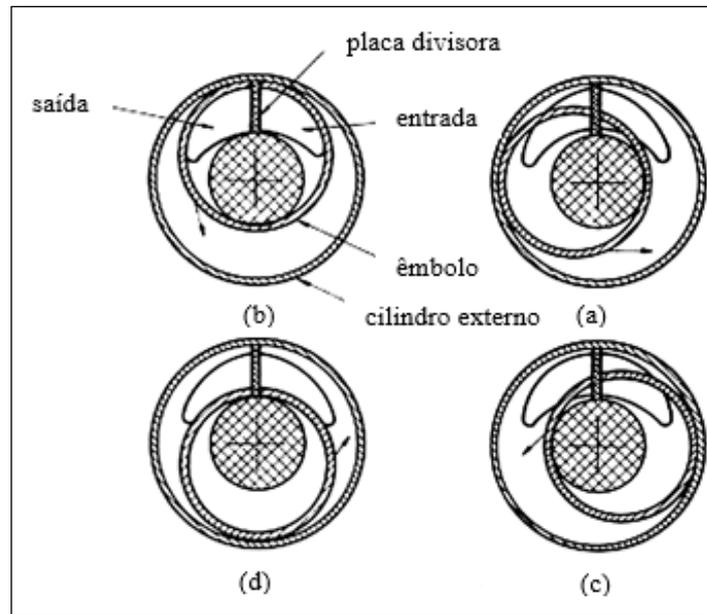


Figura 8 - Hidrômetro de êmbolo rotativo (vista em corte da câmara cilíndrica)

Fonte: <https://consultereengenhoeletronico.wordpress.com/2016/07/19/metodologia-para-a-selecao-de-um-medidor-de-vazao-de-liquidos/>. Acesso em 31 maio 2018.

Essa movimentação circular transmite ao dispositivo totalizador, através de um eixo, o número de voltas do êmbolo, ou seja, o número de enchimentos e esvaziamentos da câmara cilíndrica (TSUTIYA, 2014). Os hidrômetros de êmbolo rotativo são muito usados, por apresentarem grande vantagens, como precisão, leveza e durabilidade (CREDER, 2015, p.35).

#### 2.3.1.1 Hidrômetros Velocimétricos

Também chamados de hidrômetros taquimétricos, os hidrômetros velocimétricos se baseiam na relação entre a vazão do fluido e a velocidade do eixo de um rotor dotado de palhetas colocado numa câmara de distribuição. Em geral são mais simples e de menor custo em relação aos hidrômetros volumétricos e, por conta disso, são mais utilizados (MACINTYRE, 2013, p.4). Incluem-se nesta classificação os hidrômetros:

- dotado de hélice;
- unijato;
- multijato

, sendo estes dois últimos objetos de estudo do presente trabalho e cujos testes e resultados são apresentados em capítulos posteriores.

Os hidrômetros dotados de hélice são utilizados para vazões maiores (até 3.000 m<sup>3</sup>/h). Um dos tipos mais conhecidos é denominado Woltmann, que são fabricados com a turbina nas posições horizontal ou vertical (Figura 9). Esses hidrômetros são usados para medição de grandes consumos em indústrias, edifícios públicos e em locais de grande demanda de água. Também são usados para medição em adutoras e estações de tratamento.



Figura 9 - Hidrômetros Woltmann, com turbina horizontal (a) e com turbina vertical (b)  
Fonte: [https://www.zenner.com.br/2526/categoria/produtos\\_medidores\\_de\\_grande\\_capacidade.html](https://www.zenner.com.br/2526/categoria/produtos_medidores_de_grande_capacidade.html)  
Acesso em 31 maio 2018.

O medidor apresenta maior precisão para as maiores vazões quando a turbina está na posição horizontal, ou seja, quando está paralela ao sentido do fluxo. Quando está na vertical, ou perpendicular ao fluxo, sua precisão é melhor para vazões menores (TSUTIYA, 2014, p.545).

Os hidrômetros unijato são predominantemente utilizados para micromedição, ou seja, para quantificação dos volumes escoados nos pontos de fornecimento, ainda se baseiam em fundamentos estritamente hidráulicos e mecânicos caracterizados pela incidência de um jato nas pás de uma turbina (Figura 10).

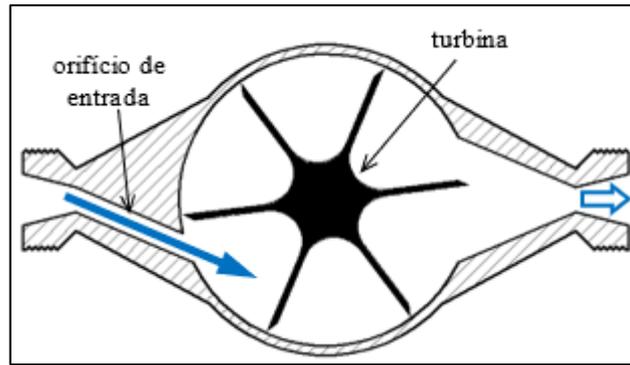


Figura 10 - Representação simplificada de um hidrômetro unijato (vista superior em corte horizontal)  
Fonte: Autoria própria.

A rotação da turbina está diretamente associada ao volume escoado, ou vazão de entrada, uma vez que a mesma é função da velocidade ( $V_j$ ) e da área ( $A_j$ ) do jato. O giro então é transmitido através de um eixo de interligação entre o rotor e a relojoaria, sistema de engrenagens, posicionada logo acima, que faz o registro e a exibição dos parâmetros de medição dos volumes aduzidos.

O fato de produzir apenas um jato tende a causar um desequilíbrio de forças na turbina, o que aumenta o atrito no eixo e a instabilidade em elevadas velocidades, contribuindo para o aumento do erro do instrumento.

Os hidrômetros multijato são hidrômetros que possuem diversos orifícios ao redor de uma câmara que provocam a incidência de mais de um jato em diferentes pás da turbina (Figura 11), a fim de evitar o efeito da instabilidade que ocorre nos hidrômetros unijato. Seu desenho mais sofisticado incorre em custos mais elevados, porém se faz necessário quando é requerida maior precisão ou vazão.

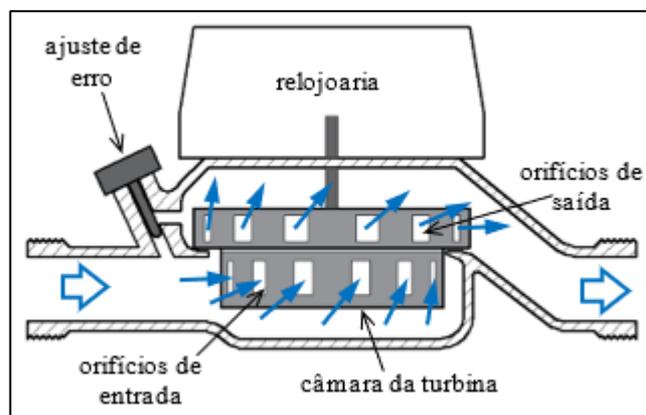


Figura 11 - Representação simplificada de um hidrômetro multijato (vista lateral em corte vertical)  
Fonte: Autoria própria.

Em ambos os casos (unijato e multijato), para que haja a rotação da turbina, primeiramente, o atrito deve ser vencido. No cenário da iminência do movimento (regime permanente), a força provocada pelo jato, considerado uniforme, em uma pá da turbina pode ser calculada pela simplificação da equação integral da quantidade de movimento linear (FOX, 2003):

$$\vec{F} = \vec{V}_j \rho V_j \cdot A_j \quad (2)$$

Tendo em vista a razão entre a massa específica  $\rho$  da água (1000 kg/m<sup>3</sup>) e do ar (1,2 kg/m<sup>3</sup>), essa equação mostra que, para uma mesma área do orifício do jato  $A_j$ , o ar deve ter uma velocidade  $V_j$  cerca de 800 vezes superior à da água para que consiga superar o atrito.

Portanto, em caso de escoamento de ar no hidrômetro, a vazão mínima para que inicie o giro da turbina e o volume seja contabilizado deverá ser muito superior àquela necessária para que o mesmo ocorra com água. Com base em um raciocínio análogo, em vazões superiores, o volume de ar registrado será sempre inferior ao realmente escoado. Por outro lado, a partir do princípio de funcionamento descrito e da Eq. (2), fica evidente a possibilidade de hidrômetros registrarem ar.

### 2.3.2 Irregularidades na utilização dos hidrômetros

Segundo Gularte (2005), os hidrômetros podem apresentar algumas irregularidades que podem comprometer o bom funcionamento. Na Tabela 4, são listadas algumas dessas irregularidades, bem como os efeitos causados por elas.

Tabela 4 - Irregularidades apresentadas na utilização de hidrômetros

<b>Irregularidade</b>	<b>Efeito</b>
desgaste das peças internas ocasionada pelo tempo de uso ou pela passagem da água em uma vazão acima da capacidade nominal do medidor	modificação no erro de medição, extrapolando as faixas de tolerância definidas na portaria Inmetro n° 246
folga nos roletes do dispositivo registrador ou remoção do eixo de seus mancais quando submetido a impactos	alteração da leitura devido ao posicionamento aleatório dos roletes
perda da capacidade de magnetização dos ímãs do sistema de transmissão	oscilações no movimento do medidor, ocasionando submedição
retirada do hidrômetro do cavalete, retirada do filtro e introdução de impurezas ou furação da câmara de medição;	alteração da leitura e parada de turbina

Fonte: Adaptado de Gularte (2005).

Acrescenta-se a isso a ocorrência de vazamentos na tubulação ou nas conexões próximas ao hidrômetro. Os vazamentos são grandes responsáveis pelas perdas de água ao longo da rede de distribuição e podem ser identificados através da análise de consumo feita regularmente. Caso o vazamento ocorra depois do hidrômetro, o volume de água será contabilizado pelo mesmo; caso ocorra antes, não será registrado, dificultando a identificação das perdas.

### **2.3.3 Novas tecnologias de medição**

Tem-se observado novas tecnologias com alta precisão na medição de consumo de água, que já estão disponíveis para uso comercial. Dentre essas tecnologias, destacam-se os seguintes medidores de água:

- medidor de vazão ultrassônico;
- medidor de vazão eletromagnético;
- hidrômetro eletrônico;
- hidrômetro de saída pulsada.

Segundo Tamaki (2003), o medidor ultrassônico tem princípio de funcionamento baseado na variação de velocidade de propagação do som em um meio em movimento. Possui um par de emissores-receptores de ultrassom fixado na parte externa do tubo, em seções transversais diferentes (Figura 12).



Figura 12 - Medidor ultrassônico

Fonte: <https://sanesoluti.com.br/produto/medidor-de-vazao-ultrassonico-fixo>. Acesso em 04 jun. 2018.

Em um intervalo de tempo, é estabelecida uma série de pulsações em um dos sentidos; no momento em que o receptor recebe um pulso, um novo pulso é emitido pelo emissor. Ao final deste intervalo de tempo, um contador fornece o número de pulsações e, durante um intervalo de tempo de mesma duração, uma série de pulsações com sentido invertido é estabelecida. Com a diferença entre as frequências de pulsos dos dois sentidos, calcula-se a velocidade da água, bem como o volume escoado num determinado tempo.

Como vantagens, o medidor ultrassônico apresenta precisão na medição de vazões em tubos de grande diâmetro e não possui partes em contato com o fluido, o que proporciona menor perda de carga. Em desvantagem, necessita de alimentação de energia e possui custo elevado.

O princípio de funcionamento do medidor eletromagnético se baseia na Lei da Indução de *Faraday*, que diz que a indução de tensão em um condutor em movimento através de um campo magnético é proporcional à velocidade que este condutor atravessa o campo, conforme Equações 3 e 4:

$$\vec{E}_i = \vec{v} \times \vec{B} \quad (3)$$

, onde  $\vec{E}_i$  é o campo elétrico induzido,  $\vec{v}$  é o vetor velocidade e  $\vec{B}$  é o campo magnético

$$\frac{\Delta U}{q} \equiv \Delta V = - \int \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (4)$$

, onde  $\Delta U$  é a variação da energia potencial,  $q$  é a carga elétrica,  $\Delta V$  é a diferença de tensão e  $d\vec{l}$  é a distância entre dois pontos considerados.

O medidor é composto por duas espiras paralelas dispostas de forma a gerar um campo magnético ortogonal ao eixo do tubo medidor e por dois eletrodos de medição de tensão (Figura 13).

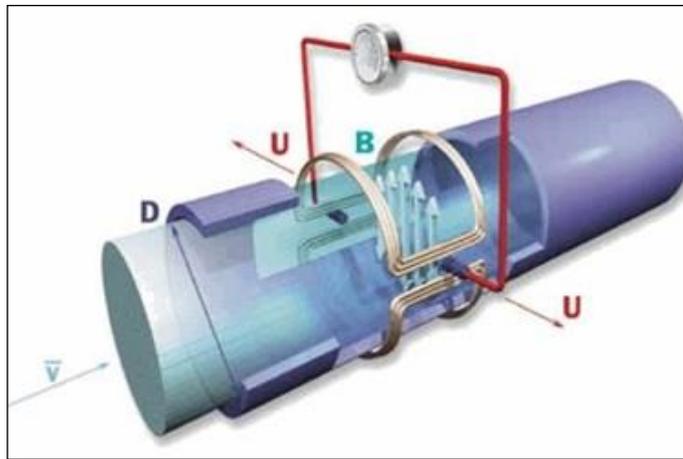


Figura 13 – Esquema do funcionamento do medidor eletromagnético

Fonte: <https://www.wateronline.com/doc/virtual-reference-technology-saves-costs-and-simplifies-flow-meter-installation-at-desalination-plants-0001>. Acesso em 04 jun. 2018.

Com o fluido, que neste caso é o condutor, em movimento através do campo magnético, uma diferença de potencial surge e pode ser medida pelos eletrodos, sendo a magnitude desta tensão proporcional à velocidade do fluido (TAMAKI, 2003).

O hidrômetro eletrônico (Figura 14) tem princípio de medição semelhante aos dos modelos de medição unijato e multijato, mas com sistemas de conversão e de totalização implementados eletronicamente (TSUTIYA, 2014, p. 547).



Figura 14 - Hidrômetros eletrônicos  
Fonte: Tamaki (2003).

As relojoarias dos hidrômetros eletrônicos em geral são do tipo totalmente seca, com transmissão magnética ou realizada por sensores eletrônicos. Possuem microprocessadores que têm funções como totalização do consumo, vazão instantânea, armazenamento de dados e indicação do sentido de fluxo. Esses dados podem ser coletados em um *display* de cristal líquido ou remotamente através de um barramento de duas vias protocolo *M-BUS* (porta de comunicação). (TAMAKI, 2003).

O hidrômetro com saída pulsada se difere de um hidrômetro convencional por conta de dispositivos especiais que geram pulsos em função do volume de água registrado (Figura 15). Os pulsos são gerados a partir de fechamento e abertura de um contato elétrico, geralmente através de uma ampola acionada magneticamente, conhecida como chave tipo “reed”. Esse tipo de hidrômetro é considerado o de menor custo que possibilita a medição eletrônica e, conseqüentemente, a telemetria.



Figura 15 - Hidrômetro convencional (à esquerda) e hidrômetro com saída pulsada (à direita)  
 Fonte: <http://www.hidrogerais.com.br/files/SAGA-CATALOGO-MULTIJATO-E-UNIJATO-AGUA-FRIA.pdf>. Acesso em 04 jun. 2018.

A saída dos pulsos pode ser do tipo “seca”, quando não possui ligação com fonte elétrica, ou “energizada”, com fonte elétrica associada e conexões de interligação polarizadas (TSUTYIA, 2014, p.547).

Além desses hidrômetros e medidores de vazão, também se observa inovação no sistema de coleta e armazenamento dos dados referentes ao consumo. O sistema de telemetria e gerenciamento do consumo é uma ferramenta que permite verificar, através de gráficos e tabelas, o comportamento do medidor instalado. É composto por um centro de medição, por um medidor instalado no cavalete de medição do consumidor (pode ser um hidrômetro com saída de sinal pulsado ou com protocolo M-Bus) e por um sistema de controle. Pode possuir um sistema de comunicação via satélite, ou via telefonia celular, ou via radiofrequência, ou via linha discada para transmissão de dados até o servidor, onde podem ser acessados pelas unidades de controle (TSUTYIA, 2014, p.548).

#### 2.4 PRESENÇA DE AR NAS TUBULAÇÕES DE FORNECIMENTO DE ÁGUA

Em condições normais de abastecimento, a presença de ar nas redes de distribuição de água é praticamente desprezível. Porém, existem determinadas situações, como manobras de registros de rede, onde volumes significativos de ar entram no sistema e podem alterar o valor do consumo registrado pelos hidrômetros, quando este ar não é eliminado de forma adequada dos troncos principais. Segundo Tsutiya (2014, p.189), a ocorrência de ar nas tubulações pode ocorrer pelos seguintes motivos:

- baixo nível de água nos reservatórios ou nos poços de sucção de uma estação elevatória, ocasionando vórtices na tubulação de saída;
- enchimento e esvaziamento das adutoras e redes de distribuição;
- liberação de ar existente na água em razão da variação da temperatura e pressão;
- pressões negativas em trechos das adutoras e redes de distribuição;
- formação de ressalto hidráulico em trechos da adutora em superfície livre;
- utilização de válvulas ventosas.

O item 5.10.3 da norma ABNT NBR 12218:1994 (Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público) cita a instalação de ventosas de admissão de ar em locais elevados, com o intuito de evitar pressões negativas na tubulação. Portanto, a entrada de ar na tubulação pode ser intencionalmente provocada em situações de baixa pressão, o que ocorre, por exemplo, pelo desligamento de bombas em caso de interrupção do fornecimento de energia elétrica. Ressalta-se que podem e devem ser instaladas, em pontos adequados, as válvulas ventosas, visando eliminar o ar eventualmente presente na rede.

Em geral, as redes de distribuição de água são divididas em setores e o fornecimento é alternado entre eles no decorrer dos dias, através de manobras de registros. Assim, ocorrem ciclos de esvaziamento (entrada de ar) e enchimento (saída de ar) das tubulações. Esta alternância é feita por manobra manual ou por comando remoto. Em determinadas localidades, há uma probabilidade de maior incidência de ar, como, por exemplo, nas regiões com cotas topográficas mais elevadas. Durante o enchimento da tubulação, as pressões são inferiores àquelas que ocorrem após a estabilização do fornecimento, quando entra em regime pleno de escoamento e as pressões são restauradas.

Quando a rede hidráulica apresenta válvulas ventosas de admissão e de expulsão adequadamente instaladas, o ar eventualmente contido na tubulação é eliminado integralmente durante o processo de enchimento de água na tubulação principal. No entanto, ocasionalmente, seja por falha de projeto ou devido a manutenção inadequada das ventosas, o ar não é totalmente eliminado pelas válvulas ventosas de expulsão de ar, podendo ser, então, encaminhado para os pontos de consumo. Neste último caso, antes de retornar ao meio ambiente, o ar passará pelos hidrômetros, resultando no registro pelo hidrômetro do volume de ar em conjunto com o volume de água efetivamente fornecido. Vale ressaltar que, durante o esvaziamento de um determinado setor, a entrada de ar na rede pode ocorrer pelos próprios pontos de abastecimento, ocasionando fluxo de ar nos hidrômetros em sentido inverso.

Portanto, para determinação do volume resultante de ar que é registrado pelo hidrômetro, torna-se importante a avaliação do fluxo de ar em ambos os sentidos.

#### 2.4.1 escoamentos monofásico e bifásico

O escoamento monofásico em redes de distribuição de água é possível em duas situações distintas: quando somente água escoar, o que ocorre em condições normais, e quando há somente ar. Esta última situação se caracteriza pelos cenários de esvaziamento ou enchimento da rede.

Já no escoamento bifásico (Figura 16), há a presença simultânea de ar e água na tubulação e pode ser caracterizado entre os seguintes tipos:

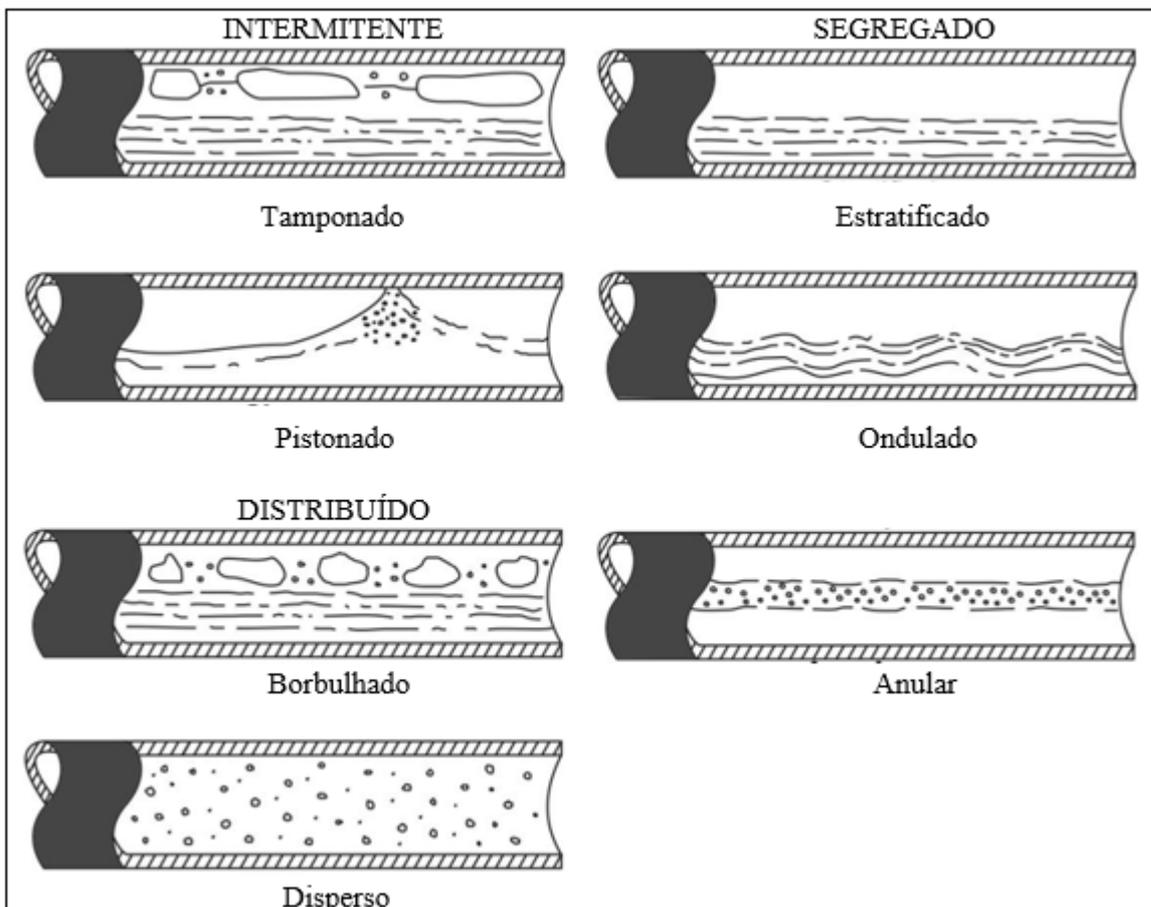


Figura 16 - Tipos de escoamento bifásico  
Fonte: Adaptado de Nevers (1991).

É importante ressaltar que, de uma maneira geral, o ar tende a concentrar-se na parte superior da tubulação, devido à sua massa específica de  $1,2 \text{ kg/m}^3$ , que é muito inferior à da

água, correspondente a  $998 \text{ kg/m}^3$ , ambos nas condições normais de temperatura e pressão (WHITE, 2001, p.32).

Um sistema perfeito para medição de ar deve ser capaz de quantificar todo o ar presente tanto em escoamento monofásico (somente ar na tubulação), quanto bifásico (ar e água na tubulação). Até o momento, não há uma norma específica nem literatura consolidada para procedimentos de detecção e quantificação de ar em redes de distribuição de água.

#### **2.4.2 Equipamentos de eliminação de ar**

De acordo com Tsutiya (2014, p. 176), o ar aprisionado nas tubulações de água restringe a seção de escoamento causando acréscimo na perda de carga, podendo até mesmo paralisar o escoamento em determinados casos. Ressalta-se que esse efeito só acontece quando o ar é “aprisionado” em um determinado ponto alto da tubulação; caso o ar escoe junto com a água, o efeito mencionado não ocorre. Outras complicações podem ser causadas pelo acúmulo de ar, tais como:

- diminuição da eficiência das bombas;
- dificuldades operacionais dos filtros;
- emulsionamento da água;
- corrosão das tubulações.

Como formas de expulsão do ar das tubulações de fornecimento de água, empregam-se alguns dispositivos como a válvula ventosa de dupla função e a válvula ventosa de tríplice função, cuja utilização é recomendada por normas.

A válvula ventosa de dupla função (Figura 17a) tem a função de expulsão de ar da tubulação durante o enchimento da rede, quando ocorrem baixas pressões, e a função de admissão de quantidade suficiente de ar durante o esvaziamento. É formada por uma câmara com um flutuador e quando está totalmente cheia de água, o empuxo exercido pelo líquido faz com que o flutuador seja empurrado para cima, fechando a passagem da válvula por onde sai o ar.

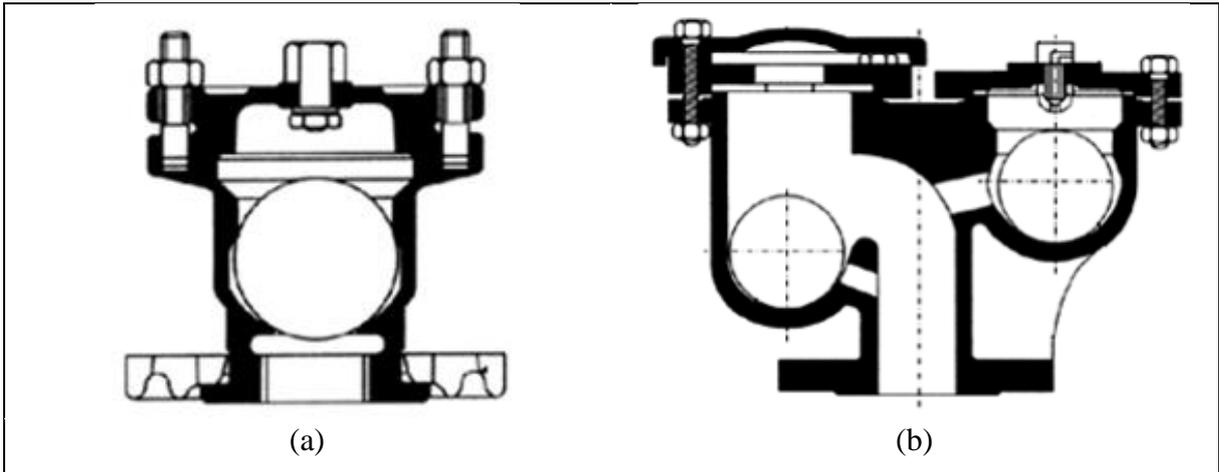


Figura 17 - Válvula ventosa de dupla função (a) e válvula ventosa de tríplice função (b)  
 Fonte: [http://www.pasquetti.com.br/protecao\\_de\\_redes\\_1.html](http://www.pasquetti.com.br/protecao_de_redes_1.html). Acesso em: 13 jun. 2018.

Já a válvula ventosa de tríplice função (Figura 17b), além das funções exercidas pela ventosa de dupla função, permite a expulsão de volumes de ar durante as condições de operação, quando ocorrem altas pressões. É constituída por dois compartimentos (principal e auxiliar), cada um contendo um flutuador.

Outro equipamento, denominado bloqueador de ar, vem sendo instalado por consumidores de água, visando evitar a cobrança de ar em suas contas. Bloqueador de ar é um dispositivo que, em vez de retirar o ar da tubulação, dificulta a sua passagem no ponto de fornecimento. Ele possui uma mola interna ligada a um êmbolo, permitindo o escoamento do fluido - ar, água ou ambos - apenas quando a pressão é superior à mínima necessária (Figura 18b).

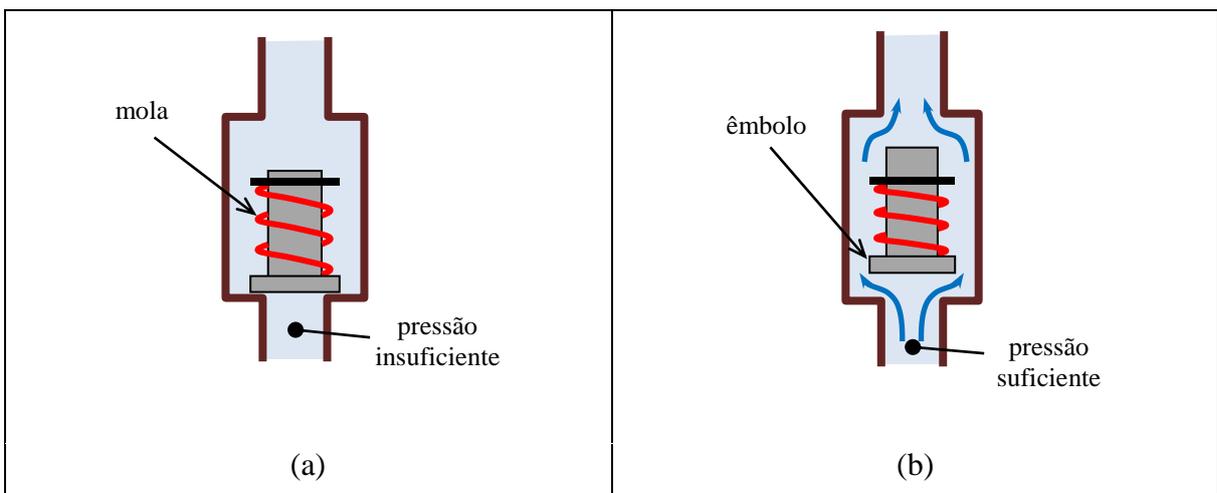


Figura 18 - Esquemático do funcionamento de um bloqueador de ar fechado (a) e aberto (b)  
 Fonte: Autoria própria.

Esse valor de pressão mínima está diretamente relacionado com a rigidez da mola, variando significativamente entre os diferentes fabricantes. Por outro lado, se a pressão não for suficiente, o dispositivo impossibilitará o escoamento (Figura 18a), mesmo que não haja ar no interior da tubulação. A eficácia do dispositivo baseia-se no princípio de que, durante o enchimento da tubulação – quando há ar – as pressões são baixas, incapazes de permitir a abertura dos bloqueadores. Com o aumento da pressão na tubulação, os volumes de ar tendem a sair pelos pontos de consumo que não tenham o dispositivo bloqueador instalado. Após a pressurização da rede (enchimento da tubulação), ocorre então a abertura da válvula. Este tipo de equipamento é posicionado à jusante do hidrômetro, dispensando autorização da concessionária para a sua instalação.

Diante disso, reportagens do Jornal da Band (2015) e do G1 (2015) sobre os bloqueadores de ar mostram relatos de consumidores de água que, após utilizarem esses dispositivos, obtiveram grande economia em suas contas. Entretanto, a Portaria Inmetro nº. 246/2000, um dos principais documentos normativos relativos a hidrômetros no Brasil, estabelece no item 9.4 que “qualquer dispositivo adicional, projetado para ser instalado junto ao hidrômetro, deverá ser aprovado pelo Inmetro, com vistas à verificação de interferência no funcionamento do medidor”. Embora alguns fabricantes de bloqueadores de ar declarem que seus produtos têm aprovação junto ao referido órgão regulador, o mesmo afirma que “não existe nenhum tipo de dispositivo eliminador de ar aprovado ou autorizado pelo Inmetro” (INMETRO, 2017).

## 2.5 ESTUDOS ANTERIORES SOBRE EFEITOS DO AR NA HIDROMETRIA

Mello e Farias (2001) realizaram um estudo sobre a quantificação de ar feita pelos hidrômetros. Em laboratório, a fim de simular uma rede de distribuição de água, foi criado um sistema que continha medidores de vazão e alguns hidrômetros dispostos em diferentes cotas de elevação. Foram realizadas medições nos hidrômetros para diferentes vazões, constatando-se que o registro de ar pelo hidrômetro é diretamente proporcional à vazão de escoamento.

Lopes, Lara e Libânio (2011) também realizaram um trabalho sobre o assunto, simulando em laboratório, uma rede de abastecimento de água, onde era possível introduzir volumes de ar. A rede possuía dois hidrômetros ligados em série e, entre eles, foram introduzidos bloqueador de ar e válvula ventosa, em medições diferentes. Um hidrômetro registrava o volume total de fluido (água e ar) que passava por ele, sendo retirado, logo em seguida, a parcela de ar. Então, um segundo hidrômetro registrava a água que passava por ele.

Constataram que a menor vazão se associa ao maior volume de ar aferido, ou seja, possuem uma relação inversamente proporcional.

Ambos estudos supracitados basearam-se em redes de escala reduzida criadas em laboratório e contabilizaram o volume de ar ocorrido para diferentes vazões. No entanto, seus resultados quantitativos não podem ser generalizados para redes reais, pois a quantidade de ar incidente é extremamente dependente das características da rede e condições de operação.

Miranda (2010) verificou a influência da presença de ar na macro e micromedição, através de testes em laboratório de diferentes medidores: microturbinas, hidrômetros, medidor eletromagnético e turbina intrusiva de seção plena. Os testes foram realizados com e sem a presença de ar, sendo feita uma análise comparativa entre eles.

Nascimento, Nascimento e Tavares (2015), apresentaram trabalho de campo sobre a presença de ar em tubulações de água. Havia, por parte de um proprietário de imóvel com ligação de fornecimento de água, a suspeita de que ocorria o registro de volumes de ar em seu hidrômetro. Essa desconfiança foi motivada por um aumento súbito na cobrança de sua conta de água e pelo fato de que o ponto de consumo se situava em local elevado e próximo a um tronco principal da rede de distribuição de água. Diante disso, foi instalado um aparato com o objetivo de verificar a ocorrência de ar nesse ponto de consumo de água. Ao final de 45 dias de observação, ficou constatado a partir das medições realizadas que um volume de aproximadamente  $40,0 \text{ m}^3$  (40 mil litros) de ar esteve presente no fornecimento de água para o imóvel.

O aparato foi formado por uma válvula ventosa, dois hidrômetros (um a montante, outro a jusante da válvula) e uma válvula de retenção, dispostos estrategicamente em um barrilete (Figura 19). O sistema consiste em, basicamente, eliminar o ar, eventualmente, presente na tubulação, através da ventosa posicionada entre o hidrômetro de montante (HD-M) e o hidrômetro de jusante (HD-J).



Figura 19 - Aparato utilizado  
 Fonte: Nascimento, Nascimento e Tavares (2015).

Uma vez que o hidrômetro de jusante (HD-J) teve a função de medir somente o volume de água fornecida, tendo em vista a atuação da ventosa, a medição do eventual volume de ar foi feita pela diferença dos volumes registrados nos hidrômetros. Os resultados encontrados nestas medições não podem ser generalizados para todas as residências ou pontos de abastecimento, pois a presença de ar e a sua quantidade dependem, principalmente, da configuração local da rede e da altitude do ponto de fornecimento.

Nascimento, Nascimento e Tavares (2018) também avaliaram os principais bloqueadores de ar disponíveis no mercado, através da análise das curvas de perda de carga  $\Delta H$  versus vazão  $Q$  (Figura 20). Os bloqueadores, denominados A, B, C, D e E, foram dispostos entre dois manômetros, previamente calibrados, numa bancada hidráulica. Para obtenção das curvas, obteve-se a diferença de pressão  $\Delta p$  registrada pelos manômetros, para diferentes vazões e, como os manômetros foram posicionados numa mesma altura, a perda de carga  $\Delta H$  foi considerada equivalente à perda de pressão  $\Delta p$ .

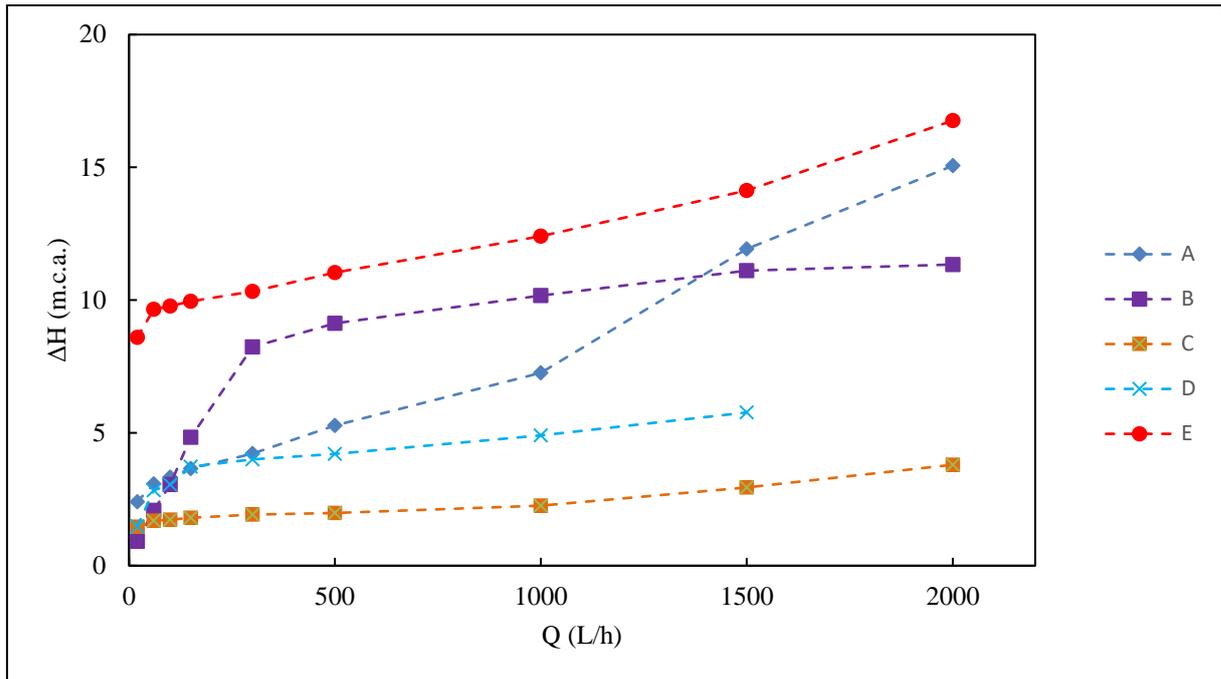


Figura 20 - Perda de carga  $\Delta H$  versus vazão  $Q$  nos bloqueadores avaliados  
 Fonte: Adaptado de Nascimento, Nascimento e Tavares (2018).

Os resultados obtidos divergiram expressivamente entre os diferentes bloqueadores testados. Parte deles apresentou pressões de abertura muito baixas (mínimo de 0,92 m.c.a.), o que permitiria a entrada de ar em determinados locais. Entretanto, outros causaram perdas de carga elevadas (12,41 m.c.a.), o que reduziria significativamente a vazão fornecida ou, até mesmo, impediria o fluxo, dependendo do local de instalação.

Os efeitos da presença de ar na medição do consumo de água não é um problema que ocorre apenas no Brasil. Em Porto Rico, o jornal *El Nuevo Día* publicou matéria em 28 de maio de 2015 a respeito do assunto, onde foi levantada a suspeita de que os possíveis volumes de ar presentes nas tubulações de fornecimento de água poderiam estar sendo registrados pelos hidrômetros (KUILAN, 2015).

No Peru, denúncias foram feitas no ano de 2012 contra a Sedapal, empresa de fornecimento de água da capital do país, de que a entrada de volumes de ar nas tubulações de água fez aumentar consideravelmente os valores cobrados de seus clientes, segundo o jornal *Peru 21*. Apesar disso, a empresa alegou, na época, que os hidrômetros não são capazes de contabilizar os volumes de ar (REDACCIÓN PERU 21, 2012).

No México, moradores da cidade de Cuernavaca relataram aumento de 70% em suas contas de água. A suspeita deles é de que a entrada de ar ocorreu no enchimento da tubulação de água. Devido à escassez de água pela qual passou a cidade, o fornecimento de água durante determinado período foi intermitente, fazendo com que, nos esvaziamentos da rede, fosse

possível a entrada de volumes de ar. Posteriormente, no enchimento da rede, o ar sairia da rede através dos pontos de consumo de água (SOBERANES, 2017).

Ademais, pela pesquisa realizada, não foi encontrado um estudo na literatura internacional sobre os efeitos da presença de volumes de ar causados nas medições de consumo de água. Acredita-se que essa escassez de material sobre o assunto ocorra por conta de se tratar de um problema presente apenas em locais que utilizam redes não pressurizadas, principalmente em países da América Latina.

### 3 VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE HIDRÔMETROS

Os hidrômetros são instrumentos utilizados com a finalidade de se medir o volume de água, porém em razão de não fazerem distinção entre os fluidos que passam por eles, podem medir eventuais volumes de ar. Além disso, as redes de distribuição de água são submetidas a enchimentos e esvaziamentos intermitentes, fazendo com que os fluidos, ar ou água, que passam pelo hidrômetro também tenham seus sentidos de escoamento alternados. Em relação aos hidrômetros, quando ocorre enchimento da rede, o escoamento se dá no sentido do abastecimento e, por ocasião do esvaziamento da rede, o escoamento se dá no sentido inverso.

Diante disso, neste capítulo são apresentados os procedimentos realizados em laboratório a fim de verificar o comportamento de seis hidrômetros quanto ao escoamento de água e quanto ao escoamento de ar, ambos ocorrendo tanto no sentido do abastecimento quanto no sentido inverso.

Os hidrômetros utilizados em todos os testes estão apresentados na Tabela 5, juntamente com seus respectivos tipo, classe, número de série, fabricante e ano de fabricação.

Tabela 5 - Hidrômetros utilizados na realização dos testes.

Hidrômetro	Tipo	Classe	Nº de série	Fabricante	Ano de fabricação
HD-1	Multijato	B	A04M005112	ENERGYRUS	2004
HD-2	Multijato	B	A12L266917	LAO	2012
HD-3	Multijato	B	A13L059198	LAO	2013
HD-4	Unijato	B	A18G004433	SAGA	2018
HD-5	Unijato	B	A18G004434	SAGA	2018
HD-6	Unijato	B	A18G004435	SAGA	2018

Fonte: Autoria própria.

Os hidrômetros HD-4, HD-5 e HD-6 são equipados com saída de sinal pulsado e foram utilizados em outras medições posteriores, apresentadas no capítulo 4. A Figura 21 apresenta os modelos dos hidrômetros utilizados neste trabalho.

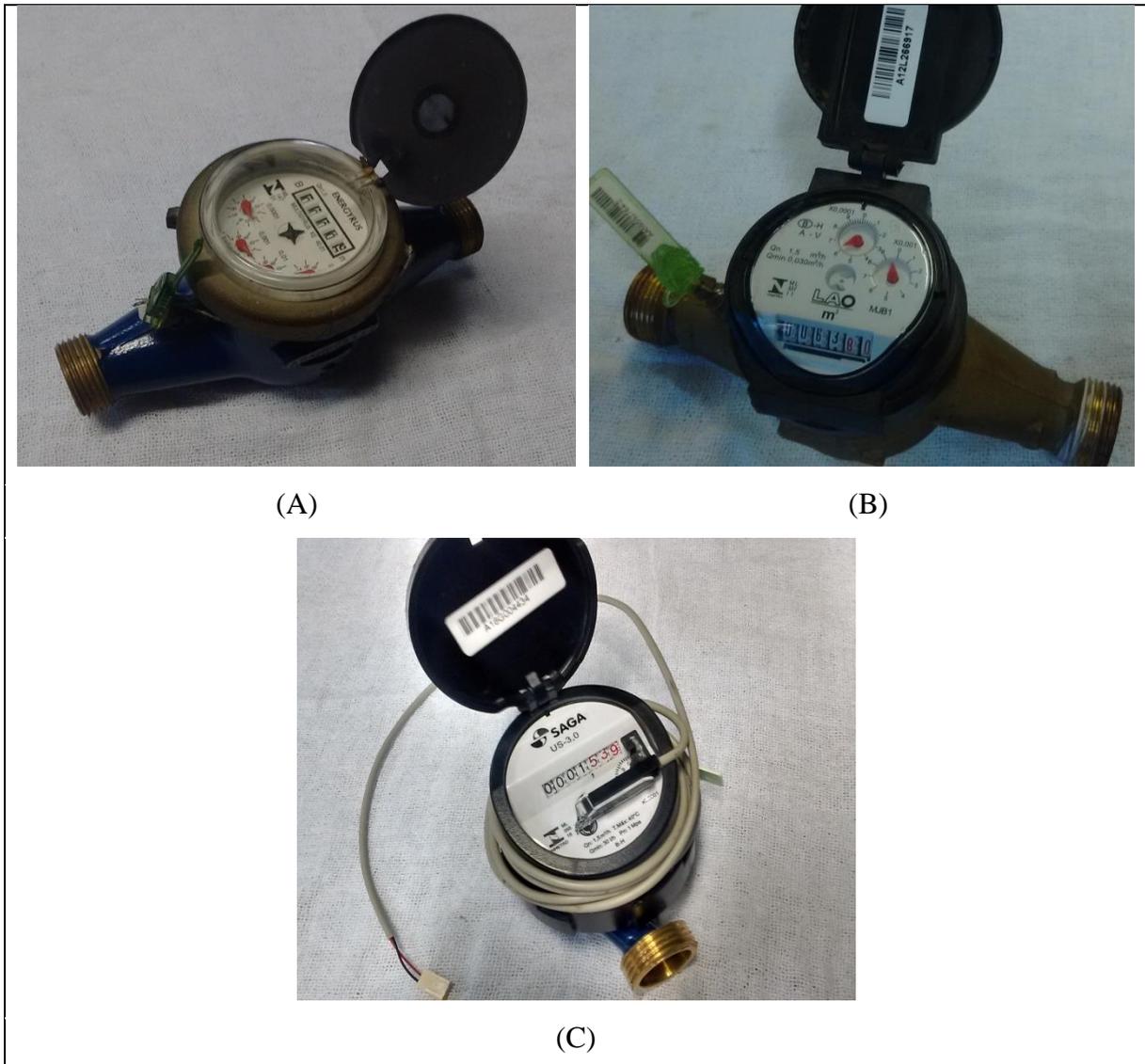


Figura 21 – Modelos dos hidrômetros utilizados. Fabricados por: Energyrus (A), Lao (B) e Saga (C)  
Fonte: Autoria própria.

### 3.1 ESCOAMENTO DE ÁGUA

Primeiramente foi realizada a aferição dos hidrômetros em condições normais, ou seja, com escoamento de água no sentido do abastecimento. Este primeiro teste teve por objetivo avaliar a precisão dos hidrômetros utilizados e, conseqüentemente, a confiabilidade dos resultados obtidos nos testes posteriores. Em seguida, foram realizadas medições nos hidrômetros com escoamento de água no sentido inverso.

A bancada hidráulica (Figura 22) utilizada para as medições envolvendo escoamento de água fornece uma vazão máxima de 2.500 L/h, com pressão em torno de 20 m.c.a.



Figura 22 - Bancada hidráulica do laboratório da UFF utilizada no trabalho  
Fonte: Autoria Própria.

### 3.1.1 Aferição dos hidrômetros

A norma ABNT NBR 212:1999 (Medidores velocimétricos de água potável fria até 15 m<sup>3</sup>/h) e a Portaria INMETRO n° 246 de 17 de outubro de 2000 estabelecem as condições que devem satisfazer os hidrômetros para água fria, assim como premissas para o teste de aferição. Em ambos os documentos citados, são determinados erros de 10% ou 5%, de acordo com a vazão e classificação do hidrômetro (Tabela 6).

Tabela 6 - Erro máximo admissível para cada vazão.

<b>Vazão</b>	<b>Mínima</b> 30 L/h	<b>Transição</b> 120 L/h	<b>Máxima</b> 1.500 L/h
Erro máximo admissível	10%	5%	5%

Fonte: NBR 212:1999 e Portaria INMETRO n° 246/2000.

O procedimento adotado consiste, basicamente, em comparar os volumes registrados pelos hidrômetros com as medições feitas por um galão com capacidade de 100 L, certificado pelo INMETRO (Figura 23). O registro de gaveta R2 é ajustado para aproximar a vazão escoada aos valores desejados (Tabela 6), dentro de uma tolerância definida pelas normas referenciadas. Um medidor de vazão (rotâmetro) é utilizado para facilitar este processo, no entanto, a vazão é, efetivamente, verificada através da divisão do volume registrado no galão pelo tempo cronometrado.

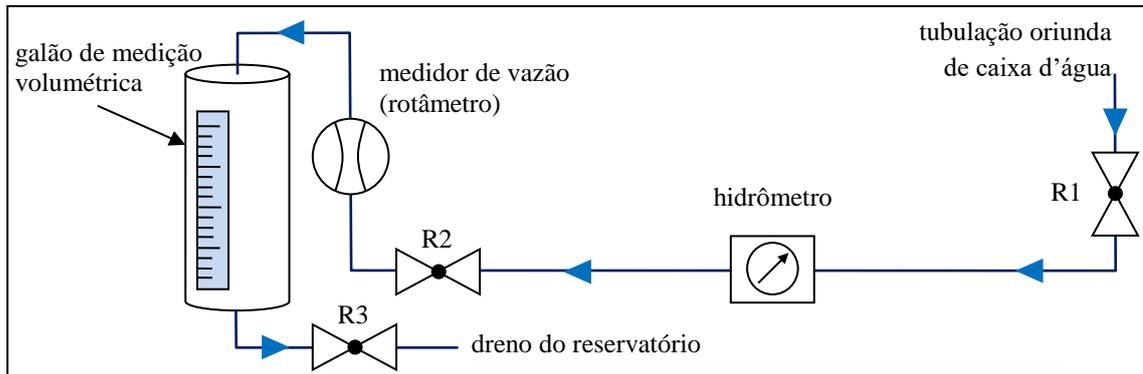


Figura 23 - Esquema para aferição dos hidrômetros

Fonte: Autoria própria.

Caso este resultado não se adeque à tolerância, o teste é repetido, reajustando-se o registro R2. Ao final de cada teste, o registro de esfera R3 é aberto, para drenar a água acumulada no galão de medição volumétrica. Em seguida, através de um sistema envolvendo cisterna, bomba e um reservatório elevado esta água é reaproveitada para novos testes.

Para cada medição, são feitas as leituras volumétricas inicial ( $L_I$ ) e final ( $L_F$ ) em cada hidrômetro. A diferença destas leituras é denominada volume medido ( $V_{med}$ ), conforme Equação 5:

$$V_{med} = L_I - L_F \quad (5)$$

Esse volume medido ( $V_{med}$ ) é, então, comparado com o volume acumulado no reservatório, denominado de volume do galão ( $V_{gal}$ ), sendo o erro assim determinado e expresso pela Equação 6:

$$Erro = \frac{V_{med} - V_{gal}}{V_{gal}} \times 100\% \quad (6)$$

Para cada vazão (mínima, transição e máxima), o procedimento é realizado três vezes, adotando-se então o erro médio. Caso ocorra uma medição muito diferente das demais, essa é descartada e é realizada uma outra medição como forma de corrigir a inicial. Na Tabela 7 são apresentados os erros médios dos hidrômetros para cada vazão.

Tabela 7 - Aferição dos hidrômetros

Erros médios dos hidrômetros (%)			
Vazão	Mínima	Transição	Máxima
	30 L/h	120 L/h	1.500 L/h
HD-1	1,37	2,66	3,25
HD-2	2,08	-0,23	0,63
HD-3	1,43	0,33	0,25
HD-4	5,44	-0,03	0,16
HD-5	4,59	-0,69	0,14
HD-6	4,13	-2,10	-1,76

Fonte: Autoria própria.

Todos os erros calculados apresentaram valores inferiores a 5% para as vazões de transição e máxima, e valores inferiores a 10% para a vazão mínima, atendendo, portanto, as condições exigidas pela Portaria INMETRO nº 246/2000. As leituras e os cálculos referentes à aferição dos hidrômetros encontram-se no Anexo A.

### 3.1.2 Medição do volume de água com escoamento no sentido inverso

Como não há na norma procedimento para medição do volume de água quando ocorre escoamento no sentido inverso, foi realizado procedimento similar ao realizado para aferição dos hidrômetros, porém invertendo-se suas orientações. As medições feitas nos hidrômetros HD-1, HD-2 e HD-3 foram realizadas para as seguintes vazões: 30, 75, 120, 300, 750, 1.500 e 2.100. Para os demais hidrômetros, as medições foram feitas para as vazões: 30, 75, 120, 300, 750, 1.500 e 1.950 L/h.

O objetivo das medições foi verificar que fração, em porcentagem, do volume efetivamente escoado e acumulado no galão ( $V_{gal}$ ) corresponde ao volume medido pelos hidrômetros ( $V_{med}$ ).

Para cada vazão, foram feitas três medições e, posteriormente, obtida a média desses valores. Na Figura 24, são apresentadas as curvas volume medido pelos hidrômetros  $V_{med}$  versus vazão  $Q$  de cada hidrômetro, com escoamento no sentido inverso. As tabelas com os dados relativos a essas medições encontram-se no Anexo B.

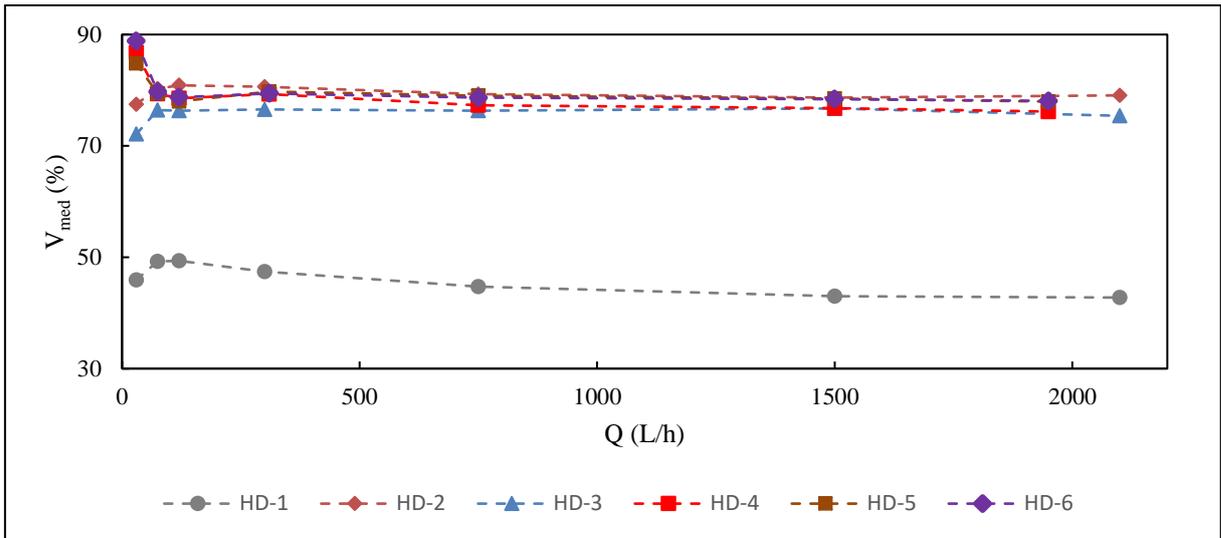


Figura 24–Volume de água medido  $V_{med}$  (%) versus vazão  $Q$ , com escoamento no sentido inverso  
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que as curvas fração média de água registrada  $V_{med}$  versus vazão  $Q$  dos hidrômetros, na condição de estarem no sentido inverso ao do escoamento, apresentam uma pequena variação para vazões mais baixas (até 120 L/h).

Também pode-se observar que há uma uniformidade para vazões maiores que 300 L/h, sendo que o hidrômetro HD-1 registra pouco mais de 40% do volume de água escoado nestas condições, enquanto os demais hidrômetros registram por volta de 80%. Vale destacar que o hidrômetro HD-1 é mais antigo que os demais hidrômetros (Tabela 5), sendo essa uma possível explicação para a diferença observada.

### 3.2 ESCOAMENTO DE AR

Inicialmente, para o teste com o escoamento de ar, foram feitas medições no sentido do abastecimento. E, posteriormente, realizadas as medições com escoamento de ar no sentido inverso. Como, para esses testes, a bancada hidráulica não foi utilizada (apenas serviu como fornecimento de água), o que gera menor perda de carga na tubulação, a vazão máxima fornecida foi maior, cerca de 4.100 L/h, com pressão de 20 m.c.a. aproximadamente.

Para os testes de ambos os sentidos foi elaborado um procedimento com o objetivo de verificar a fração do volume de ar escoado que é, efetivamente, registrado pelos hidrômetros ().

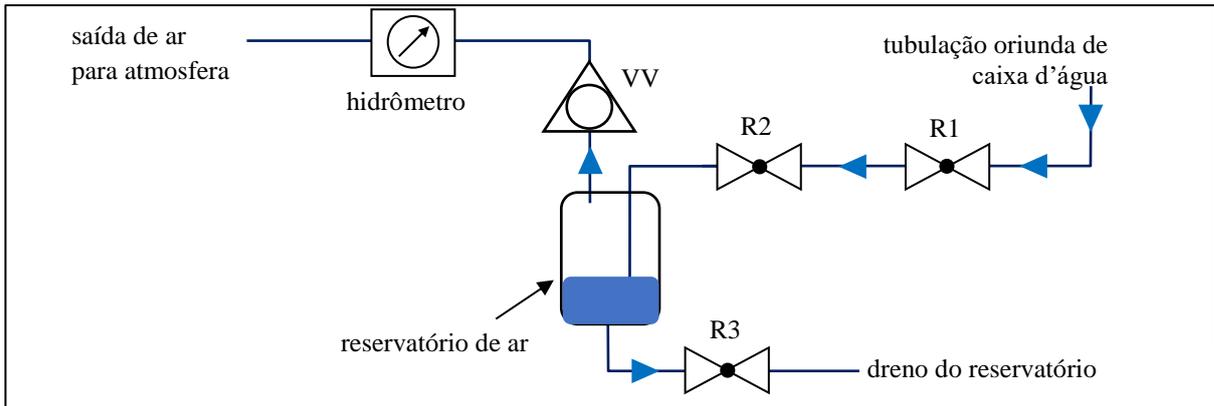


Figura 25 - Esquema para medição do volume de ar registrado pelos hidrômetros  
Fonte: Autoria própria.

O sistema foi formado por um registro esfera em PVC de diâmetro 25 mm que regulava a vazão (R2), por um reservatório de ar com capacidade de 53,85 L, por uma válvula ventosa em PVC de diâmetro 25 mm (VV) e pelos hidrômetros (já aferidos anteriormente). O registro R1 foi usado apenas para abertura e fechamento do sistema.

O procedimento consiste em fazer a água adentrar o reservatório pela tubulação oriunda da caixa d'água, fazendo com que o ar escoe pelo tubo de saída, passando pelos hidrômetros. Durante este processo, o registro R3 permaneceu fechado. Ademais, assumiu-se que a perda de carga entre o reservatório de ar e a saída para a atmosfera seja pequena, ou seja, que a pressão no seu interior é, aproximadamente, igual à atmosférica. Por conta disso, a compressibilidade do ar pode ser desprezada e o volume da saída de ar é considerado igual ao da entrada de água. A válvula ventosa, além de ter exercido sua função de eliminação de ar, serviu como interrupção do escoamento, uma vez que ela impede a passagem de água. Desta forma, no momento em que o reservatório foi completamente cheio de água, o volume de ar foi totalmente escoado e, conseqüentemente, os hidrômetros registraram os volumes correspondentes.

Ao final de cada medição, o registro R3 era então aberto, e a água utilizada para encher o reservatório era drenada e bombeada de volta para a caixa d'água.

### 3.2.1 Medição do volume de ar com escoamento no sentido do abastecimento

As medições feitas nos hidrômetros HD-1, HD-2 e HD-3 foram realizadas para as seguintes vazões: 275, 430, 600, 780, 1.050, 1.250, 1.650, 2.400 e 3.100. Para os demais hidrômetros, as medições foram feitas para as vazões: 570, 740, 780, 1.030, 1.470, 2.070, 3.300 e 4.100 L/h.

As curvas volume de ar registrado  $V_{med}$  versus vazão  $Q$  de cada hidrômetro, com escoamento no sentido do abastecimento, são apresentadas na Figura 26. Junto às curvas de cada hidrômetro estão os pontos representativos das frações de ar mínima, máxima e média registradas em cada vazão, com o intuito de verificar se há disparidades nas medições. As tabelas com os dados relativos a essas medições encontram-se no Anexo C.

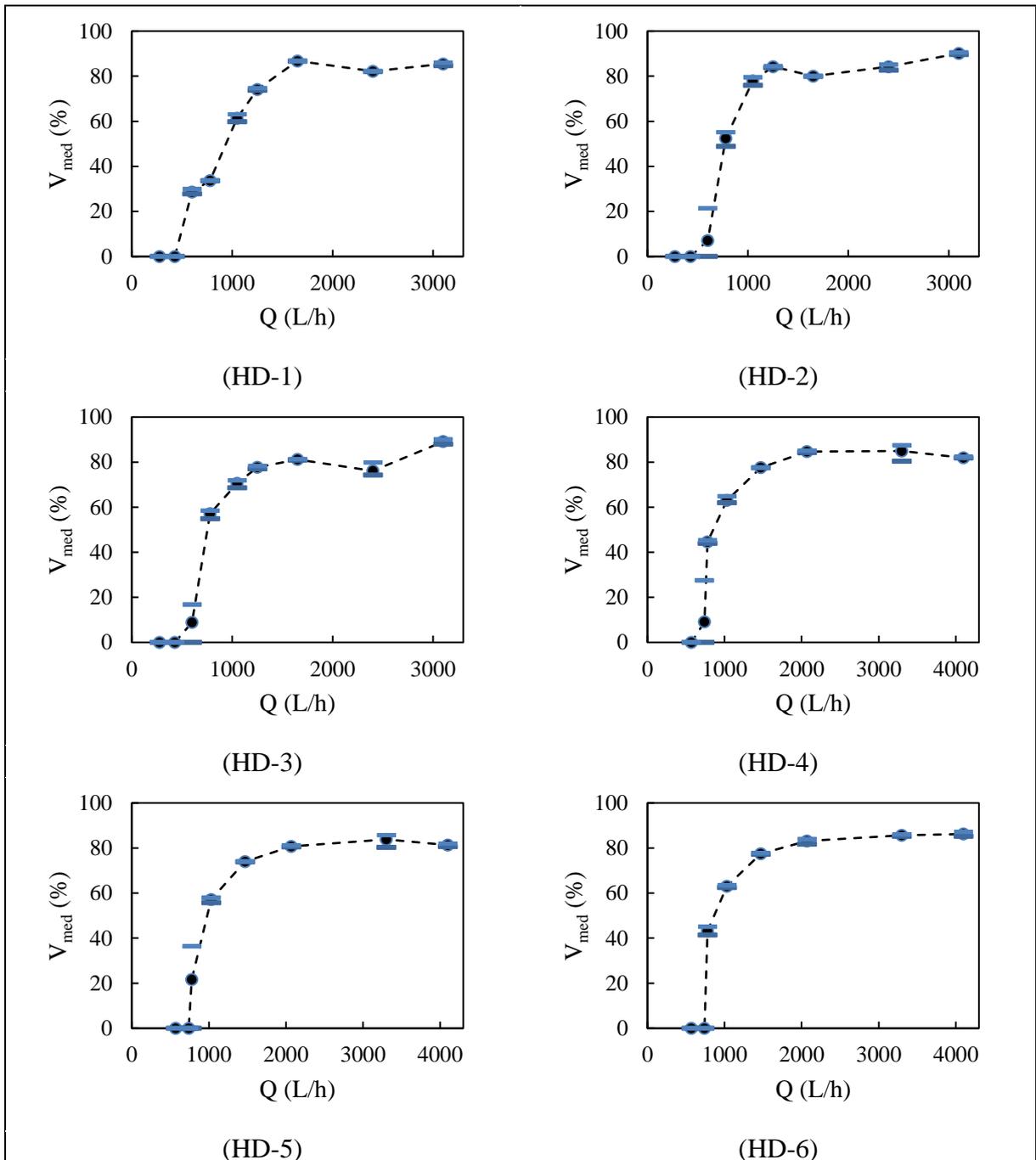


Figura 26 - Volume de ar medido  $V_{med}$  (%) versus vazão  $Q$ , escoamento no sentido do abastecimento. Fonte: Autoria própria.

Observa-se que as curvas volume de ar medido *versus* vazão de cada hidrômetro apresentam comportamento similar. Para vazões baixas (menores que 430 L/h para HD-1, HD-2 e HD-3, e menores que 570 L/h para os demais), os volumes de ar escoados não são registrados. À medida que as vazões aumentam, a fração de ar que é registrada pelos hidrômetros também aumenta, ultrapassando 75% para vazões maiores que 1.600L/h. Porém, para nenhuma vazão foi contabilizado 100% do volume escoado.

Nota-se que as maiores disparidades entre as três medições ocorrem para vazões intermediárias (entre 600 e 780 L/h). Logo, dentro deste intervalo de vazões, pode-se dizer que há uma “região crítica”. Para vazões inferiores a essa região, as leituras foram nulas, portanto, uniformes. E, para vazões superiores à região crítica, também se observa uma uniformidade nas leituras.

### **3.2.2 Medição do volume de ar com escoamento no sentido inverso**

Para avaliação da medição de ar no sentido inverso, foi utilizado o mesmo procedimento anterior, porém com os hidrômetros em posição invertida. Desta forma, o ar foi escoado no sentido inverso ao sentido indicado no hidrômetro, ocasionando uma “marcação negativa” no mesmo, ou seja, seus ponteiros giraram no sentido anti-horário fazendo com que o volume total registrado fosse menor a cada medição nestas condições.

As medições feitas nos hidrômetros HD-1, HD-2 e HD-3 foram realizadas para as vazões de 275, 430, 780, 1.050, 1.250, 2.000, 2.400 e 3.400 L/h. Para os demais hidrômetros, as medições foram feitas para as vazões: 750, 815, 875, 1.000, 1.200, 1.600, 2.070, 3.300 e 4.100 L/h. Na Figura 27 são apresentadas as curvas volume de ar medido  $V_{med}$  *versus* vazão  $Q$ , quando o escoamento ocorre no sentido inverso. As tabelas com os valores das medições e os cálculos das frações do volume registrado encontram-se no Anexo D.

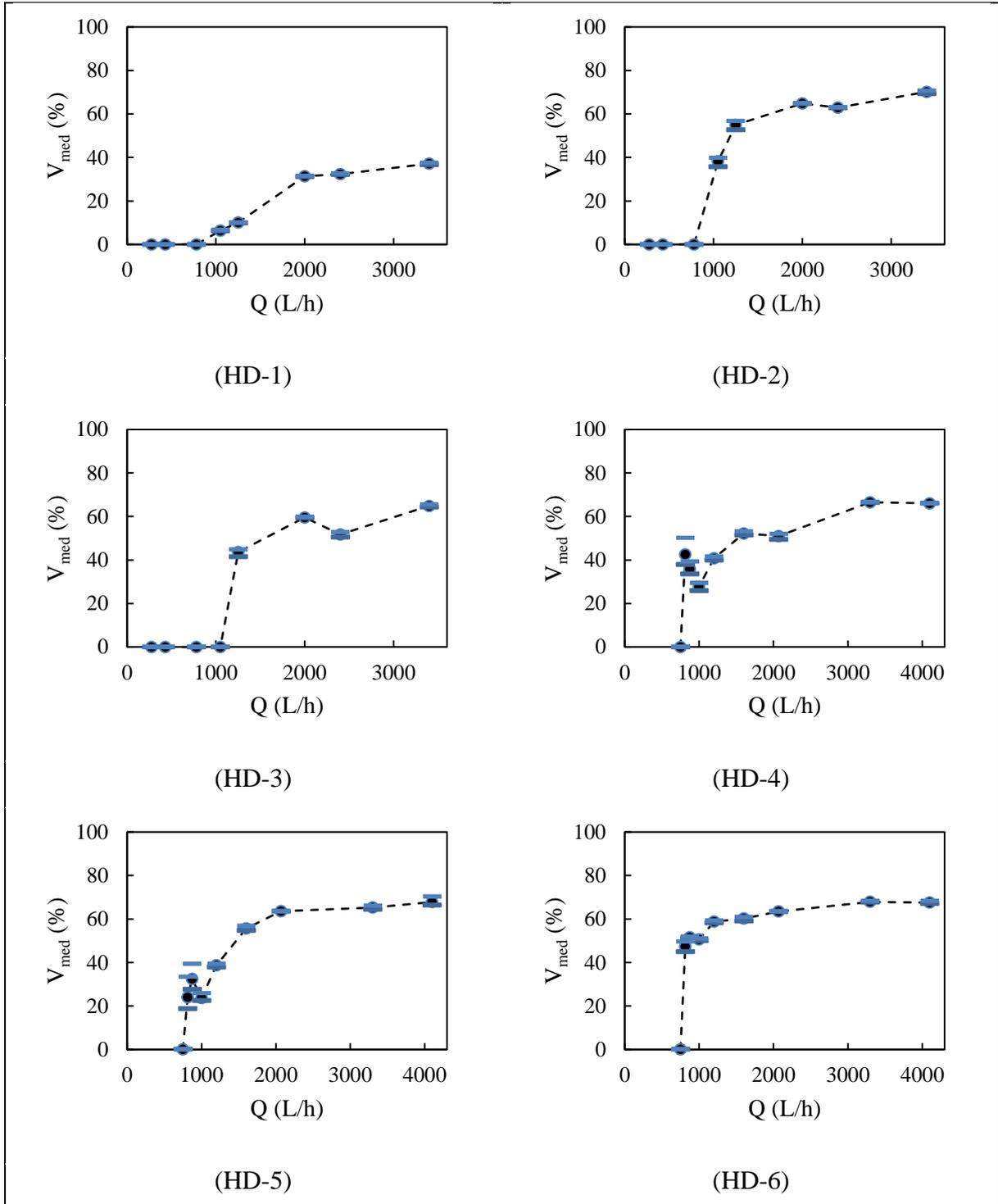


Figura 27–Volume de ar medido  $V_{med}$  (%) versus vazão  $Q$ , escoamento no sentido inverso  
Fonte: Autoria própria.

Nota-se que não há uma similaridade entre os gráficos na situação de escoamento inverso, ao contrário do que fora observado nos casos em que ocorreram escoamentos no sentido do abastecimento. Também se observa que há uma região crítica com maior faixa de vazão na situação de escoamento no sentido inverso, principalmente nos hidrômetros HD-4, HD-5 e HD-6, onde ocorrem maiores disparidades entre os volumes registrados. Esse fato

pode estar relacionado à diferença de funcionamento entre os hidrômetros, uma vez que estes últimos são do tipo unijato (há a incidência de apenas um jato na turbina). Ressalta-se que esta condição (escoamento de ar no sentido contrário) é bem diferente daquela para a qual o hidrômetro foi desenvolvido, que é o escoamento de água no sentido do abastecimento. Nos demais hidrômetros, principalmente no HD-1, essas regiões críticas são menos acentuadas.

Quando o escoamento ocorre no sentido do abastecimento, os volumes de ar medido, de acordo com a vazão do fluxo, são nulos para vazões inferiores a 430 L/h e podem chegar a 90% para vazões próximas a 3.000 L/h (Figura 26). Por outro lado, quando o fluxo de ar ocorre em sentido inverso, as porcentagens de volume registrado são menores de maneira geral e ocorre registro nulo na maioria dos hidrômetros para vazões até 750 L/h, chegando o hidrômetro HD-3 a não registrar volume para vazão igual a 1.050 L/h (Figura 27).

Desta forma, constata-se que há diferença nos valores registrados nos hidrômetros e que, em geral, o hidrômetro é mais sensível ao escoamento de ar no sentido do abastecimento do que no sentido inverso. A partir disso, entende-se que, devido aos alternados enchimentos e esvaziamentos da rede de distribuição de água, pode ocorrer uma sobremedição nos hidrômetros.

Para o desenvolvimento do sistema de medição de ar, foram utilizados os hidrômetros do tipo unijato dotados de saída de sinal pulsado. Dentre os tipos disponíveis comercialmente que possibilitam medição eletrônica, esses são os de menor custo. Apesar dos hidrômetros do tipo unijato apresentarem maior erro em relação aos do tipo multijato, foi verificado que os erros dos hidrômetros utilizados encontram-se dentro do limite estabelecido por normas (Tabela 6 e Tabela 7).

## 4 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE AR NO FORNECIMENTO DE ÁGUA

As verificações realizadas nos capítulos anteriores mostraram a presença de ar em redes de distribuição de água é um fenômeno possível, e que os hidrômetros também contabilizam os volumes de ar que o atravessam, de acordo com a taxa de escoamento, confirmando, desta forma, as suspeitas por parte dos consumidores de água. Diante disso, é apresentado neste capítulo o desenvolvido um sistema de avaliação da presença de ar em redes de distribuição de água. Este sistema tem o objetivo de verificar a presença de ar nas tubulações de fornecimento de água e quantificar os volumes de ar que possivelmente são contabilizados pelos hidrômetros das concessionárias.

### 4.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema de medição de ar proposto (

Figura 28) é formado pelos seguintes componentes mecânicos:

- 1 válvula ventosa;
- 2 hidrômetros com saída de sinal pulsado (sendo 1 a montante e 1 a jusante da válvula ventosa);
- 1 válvula de retenção;
- Conexões em PVC (tê e niples).

O funcionamento do sistema ocorre da seguinte maneira. O volume total de fluido (água/ar), fornecido pela concessionária, entra no sistema ao passar pelo hidrômetro de montante (HD-M) e é registrado por este. Ao passar pela válvula ventosa, ocorre a separação entre os volumes de água e de ar, podendo esse último ser eliminado pela válvula. O volume de água passa, então, pelo hidrômetro de jusante (HD-J) e é registrado. A válvula de retenção tem a função de impedir o retorno de fluido pelo sistema, evitando, assim, uma “desmarcação” nos hidrômetros, fenômeno que pôde ser observado no capítulo anterior.



Figura 28 - Sistema de medição de ar  
Fonte: Autoria Própria.

## 4.2 METODOLOGIA

### 4.2.1 Teste com escoamento de água

O objetivo deste teste foi verificar se a diferença entre os volumes medidos pelos hidrômetros apresenta valor próximo a zero, ou seja, se os hidrômetros registram volumes aproximadamente iguais, dado a existência do erro de cada equipamento, e se a válvula ventosa de fato não elimina algum volume de água quando ocorre o escoamento pelo sistema.

O procedimento adotado é similar ao apresentado para aferição dos hidrômetros, no capítulo anterior. Consiste, basicamente, em comparar os volumes registrados pelos hidrômetros com as medições feitas pelo galão certificado pelo INMETRO (Figura 29). O registro de gaveta R2 é ajustado para aproximar a vazão escoada aos valores desejados (Tabela 8). Um medidor de vazão (rotâmetro) é utilizado para facilitar este processo, no entanto, a vazão é, efetivamente, verificada através da divisão do volume registrado no galão pelo tempo cronometrado.

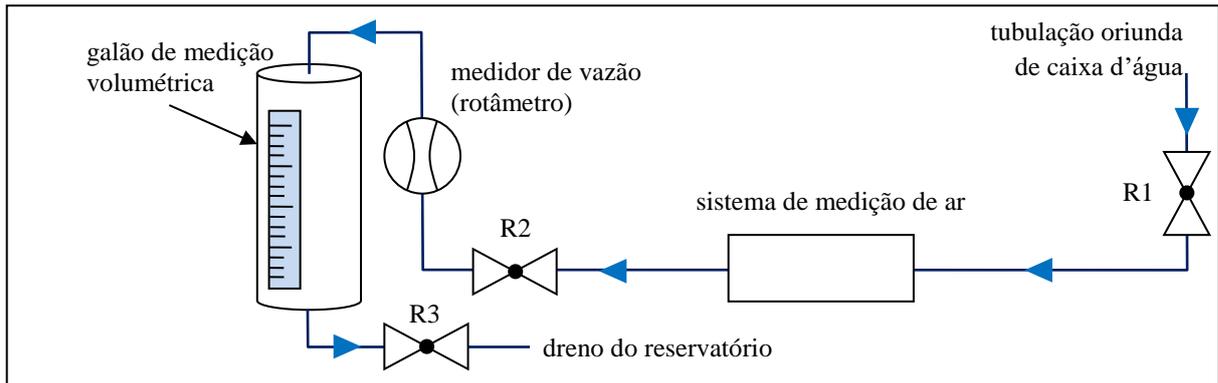


Figura 29 - Esquema para o teste de escoamento de água no sistema desenvolvido

Fonte: Autoria Própria

Ao final de cada teste, o registro de esfera R3 é aberto, para drenar a água acumulada no galão de medição volumétrica. Em seguida, através de um sistema envolvendo cisterna, bomba e um reservatório elevado esta água é reaproveitada para novos testes.

Para cada medição, são feitas as leituras volumétricas inicial ( $L_I$ ) e final ( $L_F$ ) em cada hidrômetro. A diferença destas leituras é denominada volume medido ( $V_{med}$ ), conforme Equação 7:

$$V_{med} = L_I - L_F \quad (7)$$

Esse volume medido ( $V_{med}$ ) é, então, comparado com o volume acumulado no reservatório, denominado de volume do galão ( $V_{gal}$ ), sendo o erro assim determinado e expresso pela Equação 8:

$$Erro = \frac{V_{med} - V_{gal}}{V_{gal}} \times 100\% \quad (8)$$

#### 4.2.2 Teste com escoamento de ar

Este teste teve como objetivo verificar o correto funcionamento da válvula ventosa do sistema de medição de ar. Para isso, buscou-se comparar os volumes de ar registrados pelos hidrômetros com os volumes de ar que, efetivamente, passaram pelo sistema.

O procedimento, que também é similar ao apresentado no capítulo anterior, consiste em fazer a água adentrar o reservatório de ar pela tubulação oriunda da caixa d'água, fazendo com que o ar escoe pelo tubo de saída, passando pelo sistema (Figura 30). O registro R1 foi

usado apenas para liberação ou interrupção do escoamento e o registro R2 utilizado para regular a vazão.

Durante este processo, o registro R3 permaneceu fechado, fazendo com que, desta forma, fosse possível considerar a taxa de escoamento da saída de ar igual à taxa de escoamento da entrada de água. Com isso, o volume de ar considerado em cada medição corresponde ao volume de água que adentrou ao reservatório, que fora previamente graduado.

Ao final de cada medição, o registro R3 era então aberto, e a água utilizada para encher o reservatório era drenada e bombeada de volta para a caixa d'água.

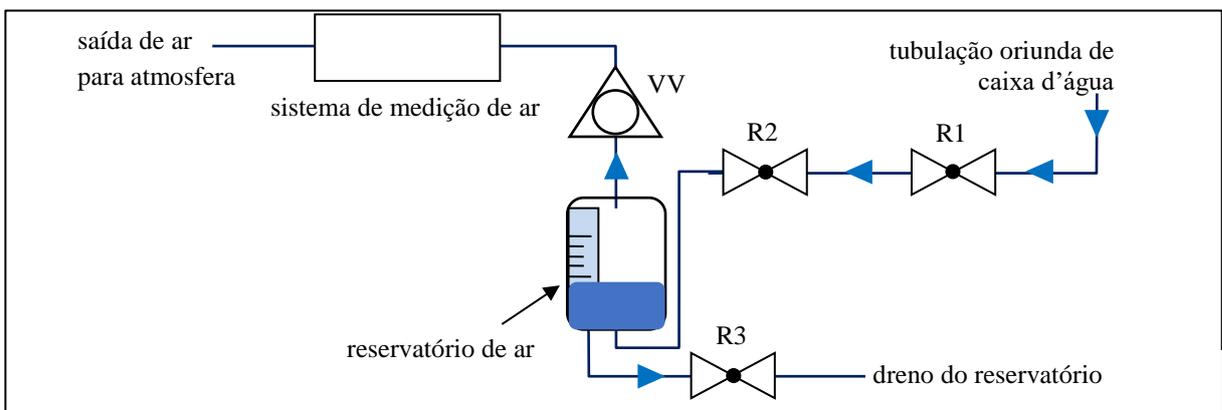


Figura 30 - Esquema para o teste de escoamento de ar no sistema desenvolvido  
Fonte: Autoria Própria.

Os cálculos para as medições dos volumes de ar foram realizados de forma análoga aos feitos para o escoamento de água, conforme as Equações 7 e 8.

Tendo em vista não haver procedimento na norma para testes envolvendo ar em hidrômetros, também não há equipamentos destinados para tal finalidade. Por conta disso, foi desenvolvido um reservatório de ar (Figura 31) a partir de um tubo de PVC de 250mm e um conjunto de registros e conexões (tês e curvas). Este reservatório difere-se daquele apresentado no Capítulo 3, uma vez que, para realização dos testes apresentados neste presente capítulo, principalmente os testes envolvendo escoamento bifásico, a pressão atuante no reservatório foi muito superior aos primeiros testes. Por conta disso, este reservatório (Figura 31) apresenta uma maior resistência em comparação ao anterior. O reservatório foi instalado de modo que sirva para outros testes futuros que envolvam escoamento de ar ou bifásico nas tubulações.



Figura 31 - Reservatório de ar desenvolvido  
Fonte: Autoria Própria.

#### 4.2.3 Teste com escoamento bifásico (água e ar)

Esse teste, de caráter qualitativo, foi realizado através da inserção do sistema de medição de ar em um aparato formado, basicamente, por dois tubos de acrílico transparente (um à montante e outro à jusante do sistema), um tubo Venturi e conexões em PVC (Figura 32). O objetivo foi comparar o escoamento à montante e à jusante, verificando visualmente o funcionamento da eliminação de ar (ventosa).

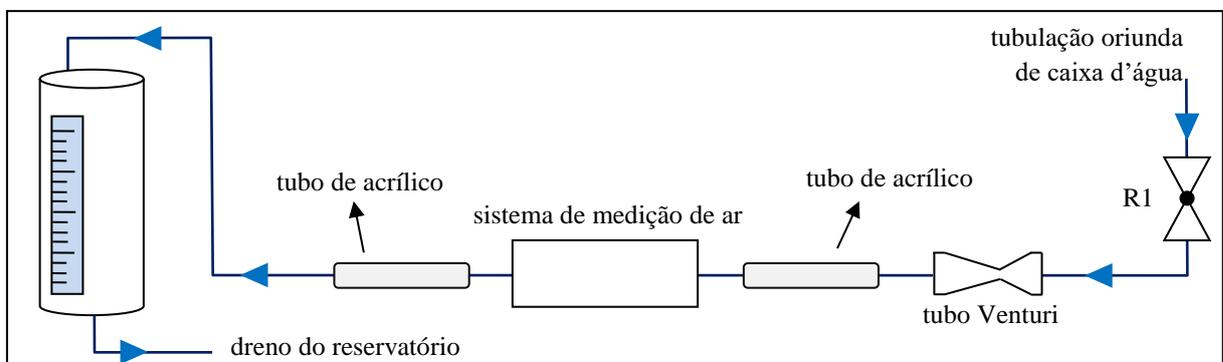


Figura 32 - Esquema para o teste com escoamento bifásico no sistema de medição de ar

Fonte: Autoria Própria.

Através do fornecimento de água pela tubulação da bancada hidráulica e da entrada de volumes de ar pelo tubo Venturi, instalado à montante do sistema, foi produzido o escoamento bifásico necessário para a realização do teste. O aparato foi colocado na bancada de modo a possibilitar a verificação do tipo de escoamento em cada tubo de acrílico (Figura 33).



Figura 33 - Aparato para teste com escoamento bifásico  
Fonte: Autoria Própria.

### 4.3 RESULTADOS E ANÁLISES

#### 4.3.1 Teste com escoamento de água

Os erros de medição dos dois hidrômetros que compõe o sistema foram inferiores a 4% (Tabela 8), ou seja, estão dentro das condições exigidas pela Portaria INMETRO n° 246/2000 e confirmam a aferição individual realizada anteriormente. As diferenças entre os volumes medidos pelos hidrômetros de montante e de jusante são pequenas, em torno de 1% (Tabela 8). Além disso, foi observado durante a execução dos testes com escoamento de água que a válvula ventosa não apresentou problemas de funcionamento, ou seja, não houve saída de qualquer volume de água por ela, demonstrando confiabilidade nos resultados.

Tabela 8 - Medições de volumes de água utilizando o sistema desenvolvido

Vazão (L/h)	V <sub>gal</sub> (L)	HD-M		HD-J		Diferença entre os volumes medidos pelos hidrômetros HD-M e HD-J	
		V <sub>med</sub> (L)	Erro (%)	V <sub>med</sub> (L)	Erro (%)	$\Delta V_{med}$ (L)	$\Delta V_{med}$ (%)
<b>200</b>	10,20	10,60	3,92	10,56	3,53	<b>0,04</b>	<b>0,39</b>
<b>480</b>	10,25	10,58	3,22	10,51	2,54	<b>0,07</b>	<b>0,68</b>
<b>900</b>	50,20	51,10	1,79	50,69	0,98	<b>0,41</b>	<b>0,82</b>
<b>1100</b>	50,20	50,69	0,98	50,34	0,28	<b>0,35</b>	<b>0,70</b>
<b>1600</b>	50,20	50,76	1,12	50,18	-0,04	<b>0,58</b>	<b>1,16</b>
<b>2100</b>	50,10	50,43	0,66	50,24	0,28	<b>0,19</b>	<b>0,38</b>
<b>2500</b>	49,50	49,58	0,16	49,49	-0,02	<b>0,09</b>	<b>0,18</b>

Fonte: Autoria Própria.

Diante do fato de que os testes demonstraram uma equivalência entre os volumes de água medidos pelos dois hidrômetros do sistema e do fato de que a válvula ventosa apresenta bom funcionamento quando ocorre escoamento de água nas diversas vazões, pode-se dizer que o sistema atendeu o esperado para este teste.

#### 4.3.2 Teste com escoamento de ar

O hidrômetro de montante registrou um volume de ar variável em função da vazão (Tabela 9), confirmando assim os resultados obtidos no capítulo anterior onde foram feitas as medições individuais em cada hidrômetro. Já o hidrômetro de jusante não registrou qualquer volume de ar, para todas as vazões utilizadas neste teste. Com isso, infere-se que a válvula ventosa desempenhou sua função de eliminação dos volumes de ar presente nas tubulações.

Tabela 9 - Medições de volumes de ar utilizando o sistema desenvolvido

Vazão (L/h)	V <sub>gal</sub> (L)	HD-M		HD-J		Diferença entre os volumes medidos pelos hidrômetros HD-M e HD-J	
		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	$\Delta V_{med}$ (L)	$\Delta V_{med}$ (%)
<b>500</b>	31,00	0	0,00	0	0	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b>800</b>	55,00	32,56	59,20	0	0	<b>32,56</b>	<b>59,20</b>
<b>980</b>	55,00	38,69	70,35	0	0	<b>38,69</b>	<b>70,35</b>
<b>1300</b>	55,00	42,33	76,96	0	0	<b>42,33</b>	<b>76,96</b>
<b>1800</b>	55,20	49,59	89,84	0	0	<b>49,59</b>	<b>89,84</b>
<b>2500</b>	55,30	50,62	91,54	0	0	<b>50,62</b>	<b>91,54</b>
<b>3800</b>	55,50	49,21	88,67	0	0	<b>49,21</b>	<b>88,67</b>

Fonte: Autoria Própria.

O sistema atendeu o que se esperava deste teste, ao fornecer resultados que demonstram o bom funcionamento da válvula ventosa.

#### 4.3.3 Teste com escoamento bifásico (água e ar)

A introdução de volumes de ar na tubulação de fornecimento de água resultou num escoamento bifásico do tipo borbulhado, observado através do tubo de acrílico à montante do sistema de medição (Figura 34). Esse tipo de escoamento está em conformidade com a ilustração apresentada anteriormente (Figura 16).



Figura 34 - Escoamento bifásico tipo borbulhado, observado à montante do sistema de medição  
Fonte: Autoria Própria.

Verificou-se que o sistema não funcionou de maneira satisfatória para o escoamento simultâneo de água e ar. Nessa condição, a válvula ventosa (componente do sistema de medição) não realizou a eliminação total dos volumes de ar presentes no escoamento, sendo observadas quantidades de ar através do tubo de acrílico transparente à jusante, escoando predominantemente conforme o tipo estratificado (Figura 35).



Figura 35 - Escoamento bifásico tipo estratificado, observado à jusante do sistema de medição  
Fonte: Autoria Própria.

Entretanto, ressalta-se que essa condição de escoamento bifásico não é recorrente nas redes de abastecimento de água. Nas situações de enchimentos e esvaziamentos da rede, em geral ocorre escoamento monofásico de água ou de ar. E, nessas condições, o sistema apresentou bom desempenho.

#### 4.4 UTILIZAÇÃO DA PLATAFORMA DE PROTOTIPAGEM ARDUÍNO

De maneira a tornar a utilização do sistema de medição de ar mais prática, incrementou-se a tecnologia Arduino, através da integração entre os dois hidrômetros do sistema e uma placa eletrônica (Figura 36). A placa Arduino é ligada a um Módulo SD Card, que possibilita a inserção de um cartão de memória. Este cartão tem o objetivo de armazenar as medições obtidas pelos dois hidrômetros do sistema de medição. Além disso, a placa é conectada ao Real Time Clock (RTC), um componente eletrônico que fornece informações sobre o tempo real. Assim, as medições realizadas pelo sistema são registradas de forma instantânea. Uma vez que os componentes são eletrônicos, necessitam de uma alimentação externa de energia, como, por exemplo, uma bateria.

Como continuidade ao projeto, existe a possibilidade de transmissão dos dados obtidos pelo sistema de medição de ar, utilizando tecnologias WIFI ou GPRS. Também em caráter de implementação futura, um medidor de pressão e um sensor de água acrescentariam ao sistema maior qualidade no tratamento das informações coletadas.

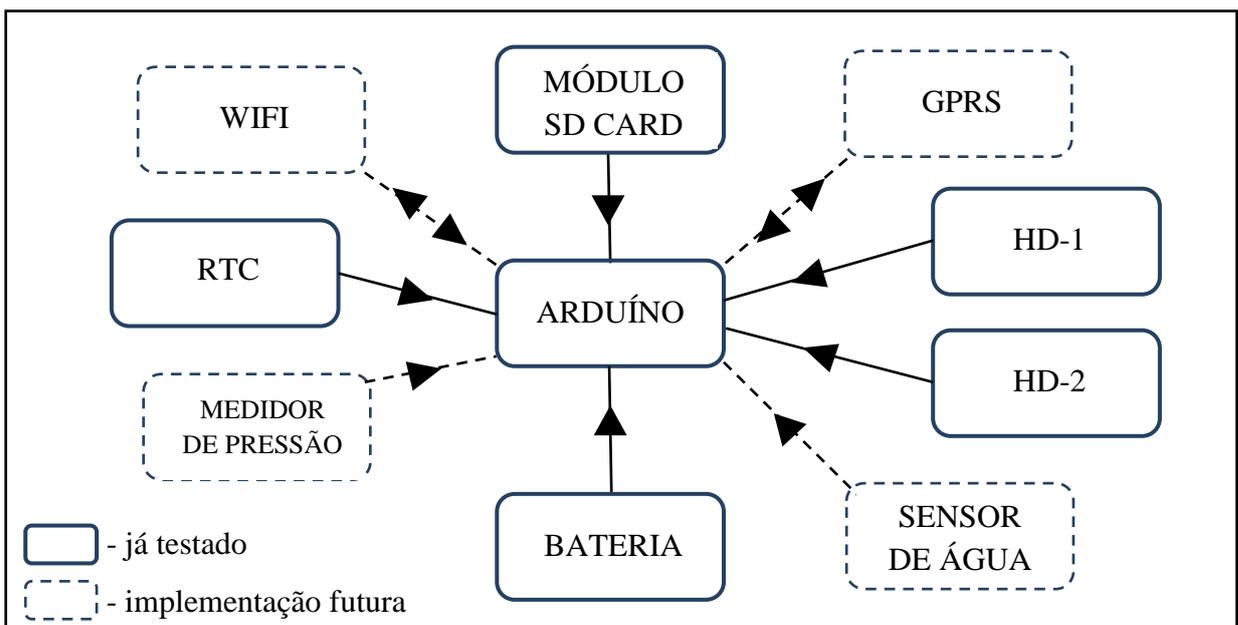


Figura 36 - Esquemático da utilização do Arduino com o sistema de medição de ar

Fonte: Autoria Própria.

Em fase de testes, as ligações entre os componentes eletrônicos (Figura 37) foram feitas utilizando uma placa denominada Protoboard (que possibilita a criação de circuitos eletrônicos) e alguns jumpers (fios utilizados para ligações). Entretanto, para a confecção de um sistema definitivo, as ligações podem ser feitas por meio de soldas, não sendo necessário a utilização da Protoboard.

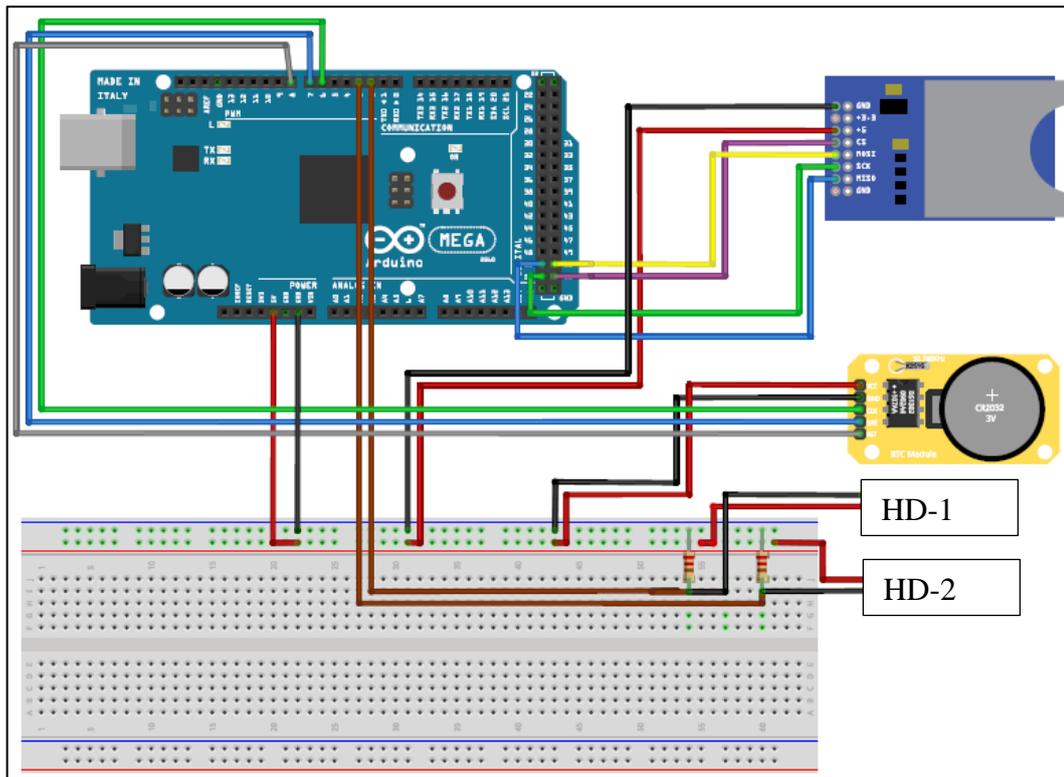


Figura 37 - Ligações entre os componentes eletrônicos  
Fonte: Autoria Própria.

A ligação entre os hidrômetros do sistema de medição e a placa Arduino (Figura 38) ocorre através de fios dos próprios hidrômetros, que se conectam a duas portas de entrada da placa (D1 e D2).

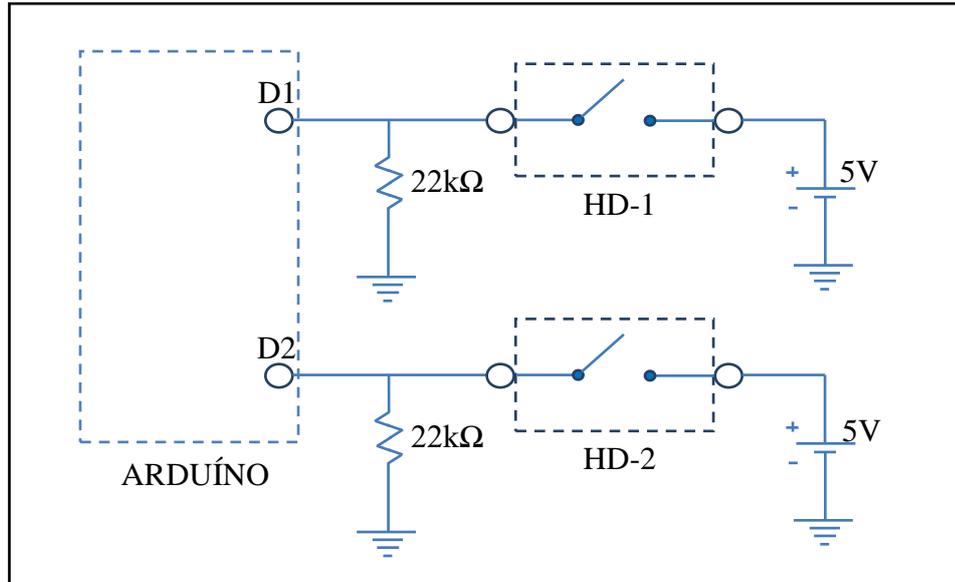


Figura 38 - Esquemático das ligações entre hidrômetros e a placa Arduino  
Fonte: Autoria Própria.

O funcionamento da placa eletrônica, bem como a interação com os demais componentes, se dá através de um código, com linguagem C. O código desenvolvido para ser utilizado no sistema de medição de ar encontra-se no Anexo E. Resumidamente, o funcionamento desse código é apresentado na forma de fluxograma (Figura 39).

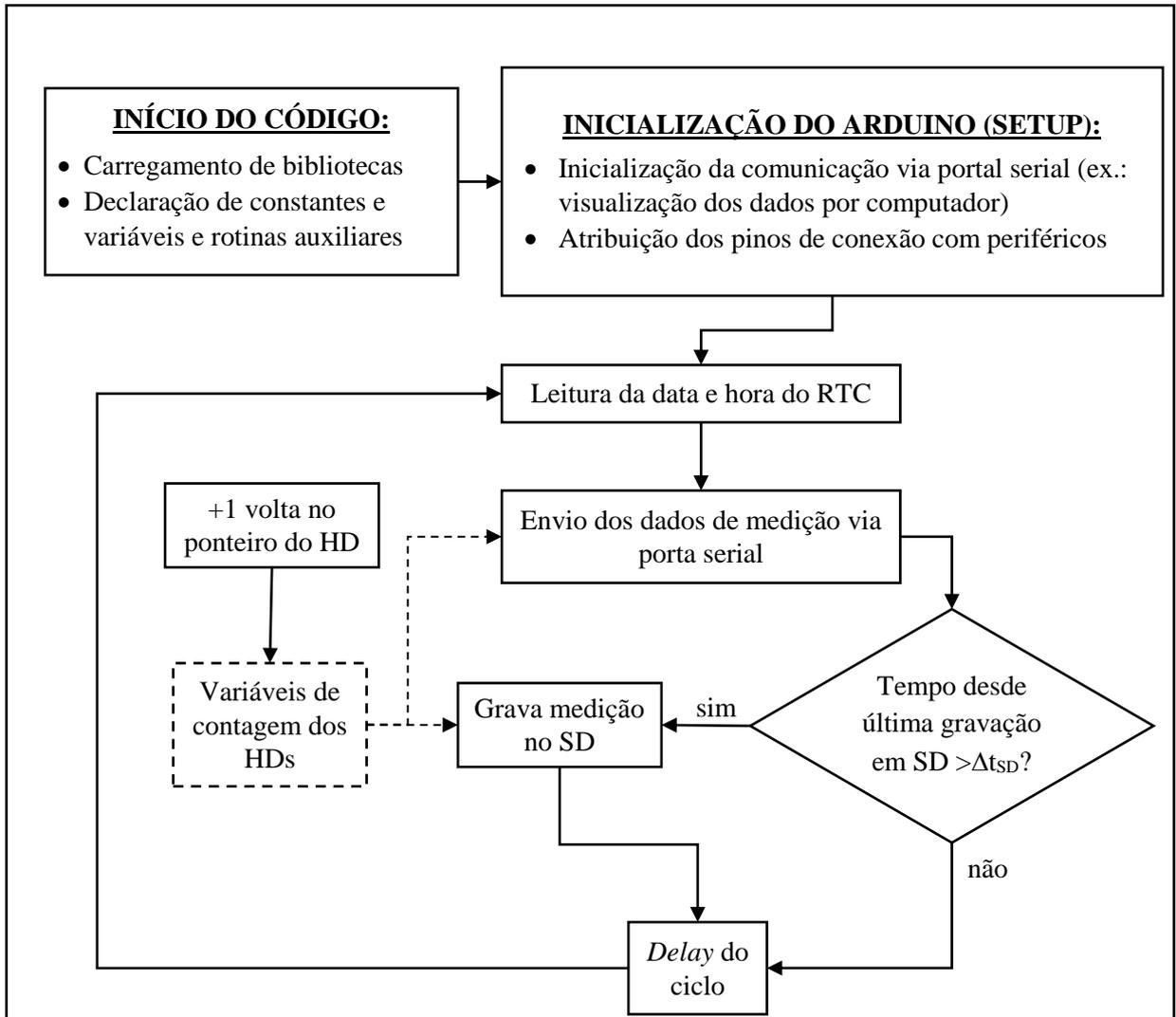


Figura 39 - Fluxograma do funcionamento do código embarcado no Arduino  
 Fonte: Autoria Própria.

#### 4.5 ESTIMATIVA DE CUSTO

A fim de saber o custo aproximado do sistema de medição de ar, foi realizado um levantamento de preços dos materiais utilizados. São apresentados dois modelos para o sistema de medição. O Modelo 1 possibilita o armazenamento dos dados obtidos em um cartão de memória, através do Módulo de Cartão SD. E também permite a transmissão dos dados via internet, através de um módulo WiFi para Arduino (Tabela 10).

Tabela 10 – Custo estimado do sistema de medição com armazenamento de dados e transmissão via internet (Modelo 1)

Quantidade	Materiais	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
<b>Componentes Mecânicos</b>			
2	Hidrômetro com saída pulsada	148,00	296,00
1	Válvula Ventosa em PVC roscável 3/4"	23,81	23,81
1	Válvula de Retenção em PVC roscável 3/4"	28,52	28,52
2	Tê em PVC com rosca 3/4"	3,90	7,80
2	União em PVC com rosca 3/4"	7,21	14,42
3	Niple 3/4"	1,45	4,35
1	Tubo PVC 25mm	6,50	6,50
2	Luvas em PVC 25mm	0,89	1,78
0,1	Fita veda rosca (50 m)	13,90	1,39
2	Lacre anti-fraude	3,00	6,00
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>390,57</b>
<b>Componentes Eletrônicos</b>			
1	Arduino Nano V3	30,00	30,00
1	Módulo Cartão SD	10,00	10,00
1	Cartão SD 8 Gb	30,00	30,00
1	Módulo Real Time Clock	12,00	12,00
2	Bateria recarregável 9v	40,00	80,00
2	Cabo conector p/ bateria 9v	4,00	8,00
1	Sensor de pressão MPX5050DP	80,00	80,00
2	Conectores para cabo dos hidrômetros	4,00	8,00
1	Cabos para ligações	10,00	10,00
1	Componentes complementares (resistores, capacitores, etc.)	5,00	5,00
1	Caixa de plástico para proteção	20,00	20,00
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>293,00</b>
<b>Opcional para transmissão de dados via internet</b>			
1	Módulo WiFi p/ Arduino	20,00	<b>20,00</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>703,57</b>

Fonte: Autoria Própria.

O Modelo 2, além do armazenamento dos dados, proporciona a transmissão via internet, através de um módulo WiFi para Arduino (Tabela 11).

Tabela 11 – Custo estimado do sistema de medição com armazenamento de dados e transmissão via sinal de celular (Modelo 2)

<b>Quantidade</b>	<b>Materiais</b>	<b>Custo Unitário (R\$)</b>	<b>Custo Total (R\$)</b>
<b>Componentes Mecânicos</b>			<b>390,57</b>
<b>Componentes Eletrônicos</b>			<b>293,00</b>
<b>Opcional para transmissão de dados por sinal de celular</b>			
1	Módulo GSM Arduino	150,00	150,00
1	Painel solar 5.5V 1.6w	70,00	70,00
1	Bateria 12V 7Ah	100,00	100,00
<b>SUB-TOTAL</b>			<b>320,00</b>
<b>TOTAL</b>			<b>1.003,57</b>

Fonte: Autoria Própria.

Os custos unitários se referem ao levantamento de preços realizado em junho de 2018, sendo que podem sofrer variação no decorrer do tempo.

Foi prevista a utilização de lacres antifraude, a fim de dar maior confiabilidade na instalação e nos testes de campo, e de conexões em PVC a serem utilizados nos pontos de instalação, posteriormente à retirada do sistema. Também foi previsto um sensor de pressão nesse levantamento de custos. Apesar de não ter sido realizado nenhum teste levando-se em consideração diferentes valores de pressão atuante na tubulação (apenas foi considerada a pressão na bancada hidráulica), para fins de continuidade do projeto, é fundamental prever este sensor.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os testes realizados comprovaram que, efetivamente, os hidrômetros, além de contabilizarem volumes de água, também registram a fração do ar que, eventualmente, escoar na tubulação, podendo acarretar sobremedida no volume de água fornecido.

O volume de ar registrado no hidrômetro em relação ao volume total de ar presente na rede, durante o processo de abastecimento, alcançou a 80 % para uma vazão de ar correspondente a de 1.650 L/h e a 90% para a vazão de ar de 3.100 L/h. Para vazões de ar inferiores a 430 L/h, a parcela de ar registrada no hidrômetro é nula. Isto significa que se o enchimento da rede ocorrer de forma lenta, ou seja, a baixa vazão, o volume de ar eventualmente presente na rede não será registrado pelo hidrômetro.

No sentido inverso (escoamento no sentido contrário ao do abastecimento), os hidrômetros registram um volume de ar relativamente menor em comparação ao que medem no sentido do abastecimento (Figura 26 e Figura 27). Por conta disso, nas situações em que ocorram enchimentos e esvaziamentos na rede de distribuição de água não deverá ocorrer compensação no volume de ar eventualmente medido no hidrômetro durante o processo de enchimento da rede.

A contabilização dos volumes de ar ocasiona não apenas um aumento no volume registrado de água, mas também no volume de esgoto, uma vez que este é calculado de forma proporcional ao consumo de água. Desta forma, o volume de ar pode ser indevidamente cobrado duas vezes na mesma conta. Ressalta-se que, de um modo geral, devem haver por parte das concessionárias de abastecimento de água ações eficazes que impeçam cobranças indevidas, resultantes da ocorrência de volumes de ar nas redes de distribuição de água.

O sistema de medição de ar desenvolvido, ao ser testado em laboratório, apresentou resultados satisfatórios. O teste com escoamento de água possibilitou verificar a equivalência entre as medições dos dois hidrômetros que compõe o sistema. Além disso, não houve eliminação de água pela válvula ventosa do sistema. O teste com escoamento de ar permitiu constatar que a válvula ventosa desempenhou satisfatoriamente sua função de eliminar os volumes de ar presente na tubulação. Foram apresentadas as configurações de dois modelos para o sistema, contando com o armazenamento e a transmissão de dados obtidos nas medições. Seus custos estimados variam entre R\$ 700,00 e R\$ 1.000,00 aproximadamente.

Propõe-se a utilização do sistema de medição de ar em projetos de extensão que tenham como objetivo o atendimento à sociedade. Para trabalhos futuros, recomenda-se a verificação do volume de ar medido pelos hidrômetros em função da pressão atuante nos

pontos de abastecimento de água. Sugere-se também a verificação do comportamento de hidrômetros modernos (ultrassônicos e magnéticos) quanto ao escoamento de ar com a metodologia proposta neste trabalho, de modo a verificar a possibilidade de utilizá-los no sistema de medição desenvolvido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos*, Brasília, DF, v.7, 2014. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2014/CadernosdeCapacitacaoemRecursosHidricosVol7.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

AQUAMAX. Redutor de conta d'água. Disponível em: <<http://www.aquamax.com.br/produto.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 212:1999 - *Medidores velocimétricos de água potável fria até 15m<sup>3</sup>/h*. Rio de Janeiro, 1999. 19p.

\_\_\_\_\_. NBR 12218:1994 - *Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro, 1994. 4p.

\_\_\_\_\_. NBR 14724:2011 – *Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação*. Rio de Janeiro, 2011. 11p.

\_\_\_\_\_. NBR 6024:2012 – *Informação e documentação – Numeração progressiva das seções de um documento – Apresentação*. Rio de Janeiro, 2012. 8p.

\_\_\_\_\_. NBR 6023:2002 – *Informação e documentação – Referências – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

\_\_\_\_\_. NBR 10520:2002 – *Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação*. Rio de Janeiro, 2002. 7p.

\_\_\_\_\_. NBR 6028:2003 – *Informação e documentação – Resumo – Apresentação*. Rio de Janeiro, 2003. 2p.

*Aumenta procura de válvulas bloqueadoras de ar em SP*. Jornal da Band. Disponível em: <<https://noticias.band.uol.com.br/jornaldaband/videos/15378425/aumenta-procura-de-valvulas-bloqueadoras-de-ar-para-hidrometro-em-sp.html>>. Acesso em: 26 jul. 2018.

Azevedo Netto, J.M. *Cronologia do abastecimento de água (até 1970)* – Revista DAE, vol. 44, n. 137, pp 106-111, São Paulo, junho, 1984.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 08 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. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/19433.htm)>. Acesso em: 11 jun. 2018

\_\_\_\_\_. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaoconsolidado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaoconsolidado.htm)>. Acesso em: 11 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 2.794, de 13 de janeiro de 1898. Dá regulamento para a arrecadação das taxas de consumo de água na capital federal. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1824-1899/decreto-2794-13-janeiro-1898-514291-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em 13 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código das Águas. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/d24643.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm)>. Acesso em: 03 jul. 2018.

\_\_\_\_\_. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Institui o Código Civil. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/2002/110406.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/2002/110406.htm)>. Acesso em: 11 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Lei nº 5.172, de 25 de outubro de 1966. Dispõe sobre o Sistema Tributário Nacional e institui normas gerais de direito tributário aplicáveis à União, Estados e Municípios. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L5172.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L5172.htm)>. Acesso em: 18 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas – ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/19984.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/19984.htm)>. Acesso em: 19 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm)>. Acesso em: 19 jun. 2018.

CARNEIRO, Júlia Dias. Enquanto Rio privatiza, por que Paris, Berlim e outras 265 cidades restatizaram saneamento?. *BBC New Brasil*, Rio de Janeiro, 23 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-40379053>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO – CEDAE. A Cedaee – História – Origem. Disponível em: <<http://www.cedae.com.br/origem>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

CRAINIC, Monica Sabina. A short history of residential water meter part I mechanical water meters with moving parts. In: *INSTALLATIONS FOR BUILDINGS AND AMBIENTAL COMFORT CONFERENCE*, 21., 2012, Timisoara. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/283045689\\_A\\_SHORT\\_HISTORY\\_OF\\_RESIDENTIAL\\_WATER\\_METERS\\_PART\\_I\\_MECHANICAL\\_WATER\\_METERS\\_WITH\\_MOVING\\_PARTS](https://www.researchgate.net/publication/283045689_A_SHORT_HISTORY_OF_RESIDENTIAL_WATER_METERS_PART_I_MECHANICAL_WATER_METERS_WITH_MOVING_PARTS)>. Acesso em: 21 maio 2018

CREDER, Hélio. *Instalações Hidráulicas e Sanitárias*. 6ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2015. 423 p.

De NEVERS, Noel. *Fluid Mechanics for Chemical Engineers*. Hill International Editions, 2. ed. Singapore: McGraw-Hill, 1991.

DINIZ, Bruno. *Conversão hipotética dos Réis para o atual Real*. Disponível em: <<http://diniznumismatica.blogspot.com/2015/11/conversao-hipotetica-dos-reis-para-o.html>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

*El colmo: Sedapal cobra por el aire que corre por lastuberías*. Redacción Peru 21. Disponível em: <<https://peru21.pe/lima/colmo-sedapal-cobra-aire-corre-tuberias-12899>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

FONSECA, A. D. F. C.; PRADO FILHO, J. F. D. Ouro Preto, Água Limpa: O abastecimento doméstico de água no epicentro do ciclo do ouro. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v.13, n.3, p. 177-188, 2008. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=14&SUMARIO=191>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. *Introduction to Fluid Mechanics*; 6 ed. [s.l.] Wiley, 2003.

GRUPO ÁGUAS DO BRASIL. O grupo – Nossa história. Disponível em: <<https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/o-grupo/nossa-historia/>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

GUIMARÃES, Rosângela M. A. B. *A privatização da água e seus impactos sobre populações residindo na periferia urbana de Campos dos Goytacazes/RJ*. Dissertação (Mestrado em Políticas Sociais). Centro de Ciências do Homem, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2012. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/politicas-sociais/wp-content/uploads/sites/11/2015/06/ROSANGELA-MARIA-AMORIM-BENEVIDES-GUIMAR%C3%83ES.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

GULARTE, Cristiano Bittencourt. *Um estudo sobre a submedição em hidrômetros para aplicação no controle de perdas aparentes no sistema de abastecimento de água de Blumenau*. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<http://150.162.242.35/handle/123456789/103013>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (2000). INMETRO *Portaria nº 246* de 17 de outubro de 2000.

\_\_\_\_\_. *Nota de esclarecimento do Inmetro a respeito de eliminador de ar*. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/501.asp>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *PNAD Contínua: de 2016 para 2017, Centro-Oeste puxa redução no abastecimento diário de água no país*. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/20978-pnad-continua-de-2016-para-2017-centro-oeste-puxa-reducao-no-abastecimento-diario-de-agua-do-pais.html>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

KUILAN, Gloria Ruiz. AAA cobra por aire em lastuberías. *El Nuevo Dia*, Porto Rico, 28 maio 2015. Locales. Disponível em: <<https://www.elnuevodia.com/noticias/locales/nota/aaacobraporaireenlastuberias-2052872/>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

MACINTYRE, Archibald Joseph. *Instalações Hidráulicas: prediais e industriais*. 4 ed. - Rio de Janeiro: LTC, 2013. 579 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Água*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

MIRANDA, I. S. L. *Presença de ar no Sistema de Abastecimento de Água: influências na macro e micromedição*. Porto Alegre: Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. 88p.

MELLO, Elton J; FARIAS, Rubens de Leão. O ar e a sua influência na medição do consumo de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: Abes, 2001 Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/brasil/i-001.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

NASCIMENTO, Elson Antônio do; NASCIMENTO, Gabriel de Carvalho; TAVARES, William Alves. *Análise da presença de ar em tubulação de fornecimento de água*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2015.

LOPES, Ney Procópio; LARA, Márcia; LIBÂNIO, Marcelo. Quantificação em escala de bancada do volume de ar em ligações prediais de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro: Abes, v. 16, n. 4, out-dez, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v16n4/a05v16n4.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2018.

PORTO, Rodrigo de Melo. *Hidráulica básica*. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540 p.

RODRIGUES, Dalton et al. A história da mulher na matemática: uma questão de gênero em Blumenau. *Revista Maiêutica - Matemática*, Indaial: Uniasselvi, v.5, n.1, 2017. Disponível em: <[https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/MAD\\_EaD](https://publicacao.uniasselvi.com.br/index.php/MAD_EaD)>. Acesso em: 06 jun. 2018.

ROSSMAN, L. A. EPANET 2.0 *Manual do Usuário*. p.201, 2009. Disponível em:<[http://lenhs.ct.ufpb.br/?page\\_id=34](http://lenhs.ct.ufpb.br/?page_id=34)>. Acesso em: 10 jan. 2018.

ROSSMAN, Lewis A. EPANET 2: *User's Manual*. Cincinnati US Environmental Protection Agency National Risk Management Research Laboratory v.38, sep. 2000. 200p. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

SABESP. Relações com investidores – Histórico. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=investidoresnovo&pub=T&db=&docid=124CE9965E00F497832576BD00604D3A&docidPai=1698C08F24239E5A8325768C00517EF8&pai=filho1&filho=neto-1>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2016>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

SOBERANES, Carlos. Se excede SAPAC em cobros por aire em lastuberías. *Diario de Morelos*, Cuernavaca, 24 jun. 2017. Disponível em: <<https://www.diariodemorelos.com/noticias/se-excede-sapac-en-cobros-por-aire-en-las-tuber%C3%ADas>>. Acesso em: 27 jun. 2018.

SOUZA, Márcia Maria dos Santos. A dominialidade das águas e a questão das fontes situadas em propriedade privada. *Âmbito Jurídico*, Rio Grande, XII, n. 63, abr. 2009. Disponível em:<[http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n\\_link=revista\\_artigos\\_leitura&artigo\\_id=5926](http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=5926)>. Acesso em:06 jun. 2018.

TAMAKI, Humberto Oyamada. *A medição setorizada como instrumento de gestão da demanda de água em sistemas prediais – Estudo de caso: programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo*. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-12042005-113615/en.php> >. Acesso em: 06 jun. 2018.

*Testes avaliam aparelho que promete bloquear ar e baixar conta de água.* G1. Disponível em: <<http://g1.globo.com/fantastico/noticia/2015/03/testes-avaliam-aparelho-que-promete-bloquear-ar-e-baixar-conta-de-agua.html> >. Acesso em 02 maio 2018.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água.* 4. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014. 643p.

TUROLLA, Frederico A. *Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas.* Texto para discussão n° 922. Brasília, IPEA, 2002. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=4155](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=4155)>. Acesso em: 03 jul. 2018.

VARGAS, Marcelo Coutinho; LIMA, Roberval Francisco de. *Concessões privadas de saneamento no Brasil: bom negócio para quem?* *Ambiente e Sociedade*, Campinas: NEPAM-Unicamp, Vol. VII, n°2, jul./dez. 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/0D/asoc/v7n2/24688.pdf> >. Acesso em: 03 jul. 2018.

WHITE, Frank M. *Mecânica dos fluidos.* 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 880p.

## ANEXO A – Aferição dos hidrômetros

	Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	Erro (%)	Erro médio (%)
		Lf	Li				
HD-1	30 (mínima)	4,12259	4,12784	5,25	5,20	0,96	1,37
		4,12784	4,13306	5,22	5,10	2,35	
		4,13306	4,13820	5,14	5,10	0,78	
	120 (transição)	4,09062	4,10113	10,51	10,20	3,04	2,66
		4,10113	4,11147	10,34	10,10	2,38	
		4,11147	4,12183	10,36	10,10	2,57	
	1500 (máxima)	3,73735	3,84117	103,82	100,50	3,30	3,25
		3,84117	3,94446	103,29	100,00	3,29	
		3,94446	4,04761	103,15	100,00	3,15	
HD-2	30 (mínima)	0,97650	0,98178	5,28	5,20	1,54	2,08
		0,98178	0,98703	5,25	5,10	2,94	
		0,98703	0,99222	5,19	5,10	1,76	
	120 (transição)	0,94539	0,95560	10,21	10,20	0,10	-0,23
		0,95560	0,96565	10,05	10,10	-0,50	
		0,96565	0,97572	10,07	10,10	-0,30	
	1500 (máxima)	0,60119	0,70238	101,19	100,50	0,69	0,63
		0,70238	0,80306	100,68	100,00	0,68	
		0,80306	0,90357	100,51	100,00	0,51	
HD-3	30 (mínima)	0,96639	0,97164	5,25	5,20	0,96	1,43
		0,97164	0,97686	5,22	5,10	2,35	
		0,97686	0,98201	5,15	5,10	0,98	
	120 (transição)	0,93511	0,94537	10,26	10,20	0,59	0,33
		0,94537	0,95549	10,12	10,10	0,20	
		0,95549	0,96561	10,12	10,10	0,20	
	1500 (máxima)	0,59201	0,69284	100,83	100,50	0,33	0,25
		0,69284	0,79316	100,32	100,00	0,32	
		0,79316	0,89327	100,11	100,00	0,11	

	Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	Erro (%)	Erro médio (%)
		Lf	Li				
HD-4	<b>30</b> (mínima)	0,90564	0,91101	5,37	5,10	5,29	<b>5,44</b>
		0,91101	0,91637	5,36	5,05	6,14	
		0,91675	0,92210	5,35	5,10	4,90	
	<b>120</b> (transição)	0,86156	0,87176	10,20	10,20	0,00	<b>-0,03</b>
		0,87176	0,88191	10,15	10,10	0,50	
		0,88191	0,89205	10,14	10,20	-0,59	
	<b>1500</b> (máxima)	0,70630	0,75681	50,51	50,50	0,02	<b>0,16</b>
		0,75681	0,80787	51,06	51,00	0,12	
		0,80787	0,85895	51,08	50,90	0,35	
HD-5	<b>30</b> (mínima)	0,84525	0,85058	5,33	5,10	4,51	<b>4,59</b>
		0,85058	0,85591	5,33	5,05	5,54	
		0,85627	0,86156	5,29	5,10	3,73	
	<b>120</b> (transição)	0,80149	0,81161	10,12	10,20	-0,78	<b>-0,69</b>
		0,81161	0,82171	10,10	10,10	0,00	
		0,82171	0,83178	10,07	10,20	-1,27	
	<b>1500</b> (máxima)	0,64630	0,69679	50,49	50,50	-0,02	<b>0,14</b>
		0,69679	0,74785	51,06	51,00	0,12	
		0,74785	0,79891	51,06	50,90	0,31	
HD-6	<b>30</b> (mínima)	0,82860	0,83393	5,33	5,10	4,51	<b>4,13</b>
		0,83393	0,83919	5,26	5,05	4,16	
		0,83957	0,84486	5,29	5,10	3,73	
	<b>120</b> (transição)	0,78536	0,79536	10,00	10,20	-1,96	<b>-2,10</b>
		0,79536	0,80530	9,94	10,10	-1,58	
		0,80530	0,81522	9,92	10,20	-2,75	
	<b>1500</b> (máxima)	0,63309	0,68262	49,53	50,50	-1,92	<b>-1,76</b>
		0,68262	0,73269	50,07	51,00	-1,82	
		0,73269	0,78281	50,12	50,90	-1,53	

## ANEXO B - Cálculo do volume de água medido, com escoamento no sentido inverso

HD-1 (A04M005112)							HD-2 (A12L266917)						
Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li						Lf	Li				
<b>30</b>	6,79045	6,78807	2,38	5,03	47,32	<b>45,90</b>	<b>30</b>	64,20610	64,20222	3,88	4,98	77,91	<b>77,49</b>
	6,78807	6,78577	2,30	5,05	45,54			64,20222	64,19832	3,90	5,03	77,53	
	6,78577	6,78351	2,26	5,04	44,84			64,19832	64,19443	3,89	5,05	77,03	
<b>75</b>	6,77512	6,77270	2,42	4,99	48,50	<b>49,23</b>	<b>75</b>	64,18043	64,17647	3,96	4,99	79,36	<b>80,29</b>
	6,77270	6,77025	2,45	4,91	49,90			64,17647	64,17252	3,95	4,91	80,45	
	6,77025	6,76783	2,42	4,91	49,29			64,17252	64,16854	3,98	4,91	81,06	
<b>120</b>	6,19295	6,19051	2,44	4,95	49,29	<b>49,36</b>	<b>120</b>	63,73251	63,72851	4,00	4,95	80,81	<b>80,88</b>
	6,19051	6,18806	2,45	4,95	49,49			63,72851	63,72449	4,02	4,95	81,21	
	6,18806	6,18562	2,44	4,95	49,29			63,72449	63,72050	3,99	4,95	80,61	
<b>300</b>	6,80518	6,80278	2,40	5,10	47,06	<b>47,41</b>	<b>300</b>	64,23259	64,22849	4,10	5,10	80,39	<b>80,62</b>
	6,80278	6,80036	2,42	5,08	47,64			64,22849	64,22439	4,10	5,08	80,71	
	6,80036	6,79794	2,42	5,09	47,54			64,22439	64,22028	4,11	5,09	80,75	
<b>750</b>	6,71889	6,69647	22,42	50,3	44,57	<b>44,70</b>	<b>750</b>	64,08199	64,04207	39,92	50,3	79,36	<b>79,30</b>
	6,69647	6,67440	22,07	49,4	44,68			64,04207	64,00294	39,13	49,4	79,21	
	6,65139	6,62933	22,06	49,2	44,84			63,96221	63,92318	39,03	49,2	79,33	
<b>1500</b>	6,62596	6,60460	21,36	49,6	43,06	<b>43,01</b>	<b>1500</b>	63,91707	63,87798	39,09	49,6	78,81	<b>78,67</b>
	6,60460	6,58292	21,68	50,4	43,02			63,87798	63,83833	39,65	50,4	78,67	
	6,58292	6,56128	21,64	50,4	42,94			63,83833	63,79875	39,58	50,4	78,53	
<b>2100</b>	6,34055	6,32020	20,35	47,3	43,02	<b>42,76</b>	<b>2100</b>	64,00198	63,96441	37,57	47,3	79,43	<b>79,07</b>
	6,32020	6,29957	20,63	48,0	42,98			63,96441	63,92620	38,21	48,0	79,60	
	6,29957	6,27940	20,17	47,7	42,29			63,92620	63,88891	37,29	47,7	78,18	

HD-3 (A13L059198)							HD-4 (A18G004433)						
Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li						Lf	Li				
<b>30</b>	22,49406	22,49043	3,63	4,98	72,89	<b>72,11</b>	<b>30</b>	0,91318	0,90878	4,40	4,97	88,53	<b>86,74</b>
	22,49043	22,48681	3,62	5,03	71,97			0,90878	0,90449	4,29	5,00	85,80	
	22,48681	22,48320	3,61	5,05	71,49			0,90449	0,90017	4,32	5,03	85,88	
<b>75</b>	22,46994	22,46617	3,77	4,99	75,55	<b>76,44</b>	<b>75</b>	0,17193	0,16799	3,94	4,99	78,96	<b>79,38</b>
	22,46617	22,46240	3,77	4,91	76,78			0,15884	0,15481	4,03	5,07	79,49	
	22,46240	22,45862	3,78	4,91	76,99			0,15481	0,15077	4,04	5,07	79,68	
<b>120</b>	22,00755	22,00377	3,78	4,95	76,36	<b>76,30</b>	<b>120</b>	0,88922	0,88522	4,00	5,08	78,74	<b>78,53</b>
	22,00377	21,99999	3,78	4,95	76,36			0,88522	0,88123	3,99	5,10	78,24	
	21,99999	21,99622	3,77	4,95	76,16			0,88123	0,87722	4,01	5,10	78,63	
<b>300</b>	22,51885	22,51495	3,90	5,10	76,47	<b>76,56</b>	<b>310</b>	0,14956	0,14546	4,10	5,17	79,30	<b>79,30</b>
	22,51495	22,51105	3,90	5,08	76,77			0,14546	0,1414	4,06	5,12	79,30	
	22,51105	22,50716	3,89	5,09	76,42			0,1414	0,13732	4,08	5,11	79,84	
<b>750</b>	22,37563	22,33725	38,38	50,3	76,30	<b>76,30</b>	<b>750</b>	0,50357	0,46464	38,93	50,30	77,40	<b>77,28</b>
	22,33725	22,29959	37,66	49,4	76,23			0,46159	0,42330	38,29	49,60	77,20	
	22,26041	22,22284	37,57	49,2	76,36			0,42330	0,3853	38,00	49,20	77,24	
<b>1500</b>	22,21690	22,17878	38,12	49,6	76,85	<b>76,72</b>	<b>1500</b>	0,86630	0,82804	38,26	49,90	76,67	<b>76,80</b>
	22,17878	22,14012	38,66	50,4	76,71			0,82804	0,79024	37,80	49,20	76,83	
	22,14012	22,10151	38,61	50,4	76,61			0,59422	0,55554	38,68	50,30	76,90	
<b>2100</b>	22,26341	22,22759	35,82	47,3	75,73	<b>75,38</b>	<b>1950</b>	0,29104	0,25174	39,30	51,50	76,31	<b>76,17</b>
	22,22759	22,19123	36,36	48,0	75,75			0,25174	0,21236	39,38	51,80	76,02	
	22,19123	22,15562	35,61	47,7	74,65			0,21236	0,17283	39,53	51,90	76,17	

HD-5 (A18G004434)						HD-6 (A18G004435)							
Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (L)	V <sub>gal</sub> (L)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li						Lf	Li				
<b>30</b>	0,85249	0,84817	4,32	4,97	86,92		0,83523	0,83072	4,51	4,97	90,74		
	0,84817	0,84400	4,17	5,00	83,40	<b>84,81</b>	0,83072	0,82631	4,41	5,00	88,20	<b>88,87</b>	
	0,84400	0,83977	4,23	5,03	84,10		0,82631	0,82190	4,41	5,03	87,67		
<b>75</b>	0,0952	0,091234	3,97	4,99	79,48		0,07864	0,07462	4,02	4,99	80,56		
	0,0821	0,07807	4,03	5,07	79,49	<b>79,42</b>	0,06551	0,06149	4,02	5,07	79,29	<b>79,71</b>	
	0,07807	0,07405	4,02	5,07	79,29		0,06149	0,05747	4,02	5,07	79,29		
<b>120</b>	0,82888	0,82491	3,97	5,08	78,15		0,81094	0,80693	4,01	5,08	78,94		
	0,82491	0,82092	3,99	5,10	78,24	<b>78,01</b>	0,80693	0,80292	4,01	5,10	78,63	<b>78,73</b>	
	0,82092	0,81696	3,96	5,10	77,65		0,80292	0,79891	4,01	5,10	78,63		
<b>310</b>	0,07282	0,0687	4,12	5,17	79,69		0,05624	0,05214	4,10	5,17	79,30		
	0,0687	0,06461	4,09	5,12	79,88	<b>79,74</b>	0,05214	0,04807	4,07	5,12	79,49	<b>79,42</b>	
	0,06461	0,06054	4,07	5,11	79,65		0,04807	0,04401	4,06	5,11	79,45		
<b>750</b>	0,43506	0,39523	39,83	50,30	79,18		0,41776	0,37814	39,62	50,30	78,77		
	0,39212	0,35296	39,16	49,60	78,95	<b>79,04</b>	0,37501	0,33602	38,99	49,60	78,61	<b>78,65</b>	
	0,35296	0,3141	38,86	49,20	78,98		0,33602	0,29736	38,66	49,20	78,58		
<b>1500</b>	0,80583	0,76673	39,10	49,90	78,36		0,78773	0,74865	39,08	49,90	78,32		
	0,76673	0,72818	38,55	49,20	78,35	<b>78,47</b>	0,74865	0,71011	38,54	49,20	78,33	<b>78,40</b>	
	0,52769	0,4881	39,59	50,30	78,71		0,51004	0,47053	39,51	50,30	78,55		
<b>1950</b>	0,21711	0,17686	40,25	51,50	78,16		0,20065	0,16035	40,30	51,50	78,25		
	0,17686	0,13657	40,29	51,80	77,78	<b>77,96</b>	0,16035	0,12001	40,34	51,80	77,88	<b>78,09</b>	
	0,13657	0,09611	40,46	51,90	77,96		0,12001	0,07946	40,55	51,90	78,13		

## ANEXO C - Cálculo do volume de ar medido, com escoamento no sentido do abastecimento

HD-1 (A04M005112)					HD-2 (A12L266917)						
Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li					Lf	Li			
<b>275</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>275</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>430</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>430</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>600</b>	6,33006	6,34504	14,98	27,82	<b>28,71</b>	64,12662	64,12662	0	0,00	<b>7,17</b>	
	6,33559	6,35081	15,22	28,27		64,09842	64,11000	11,58	21,51		
	6,34571	6,36189	16,18	30,05		64,09248	64,09248	0	0,00		
<b>780</b>	5,68100	5,69922	18,22	33,84	<b>33,71</b>	63,90553	63,93186	26,33	48,90	<b>52,54</b>	
	5,69043	5,70858	18,15	33,71		63,90210	63,93094	28,84	53,56		
	5,70161	5,71970	18,09	33,60		63,90503	63,93473	29,70	55,16		
<b>1050</b>	5,85728	5,89124	33,96	63,07	<b>61,36</b>	64,00179	64,04268	40,89	75,94	<b>78,01</b>	
	5,88376	5,91600	32,24	59,88		64,01288	64,05524	42,36	78,67		
	5,90803	5,94095	32,92	61,14		64,02385	64,06662	42,77	79,43		
<b>1250</b>	5,43638	5,47664	40,26	74,77	<b>74,10</b>	63,74648	63,79198	45,50	84,50	<b>84,26</b>	
	5,46793	5,50764	39,71	73,75		63,76121	63,80630	45,09	83,74		
	5,49911	5,53884	39,73	73,79		63,77530	63,82082	45,52	84,54		
<b>1650</b>	4,98584	5,03255	46,71	86,75	<b>86,78</b>	63,60747	63,65052	43,05	79,95	<b>80,02</b>	
	5,04664	5,09344	46,80	86,92		63,62810	63,67128	43,18	80,19		
	5,08033	5,12700	46,67	86,67		63,63932	63,68235	43,03	79,91		
<b>2400</b>	6,08140	6,12568	44,28	82,24	<b>82,22</b>	64,09891	64,14472	45,81	85,08	<b>84,31</b>	
	6,11816	6,16237	44,21	82,11		64,12865	64,17449	45,84	85,13		
	6,15341	6,19774	44,33	82,33		64,14384	64,18838	44,54	82,72		
<b>3100</b>	5,25697	5,30295	45,98	85,39	<b>85,41</b>	63,68581	63,73463	48,82	90,67	<b>90,12</b>	
	5,29323	5,33958	46,35	86,08		63,69604	63,74433	48,29	89,68		
	5,33000	5,37564	45,64	84,76		63,71347	63,76194	48,47	90,02		

HD-3 (A13L059198)					HD-4 (A18G004433)						
Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub>	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li					Lf	Li			
<b>430</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>570</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>600</b>	22,34530	22,34530	0	0,00	<b>740</b>	1,04950	1,06422	14,72	27,34	<b>9,11</b>	
	22,33106	22,33621	5,15	9,56		1,06422	1,06422	0,00	0,00		
	22,31140	22,32046	9,06	16,83		1,06422	1,06422	0,00	0,00		
<b>780</b>	22,10076	22,13223	31,47	58,45	<b>780</b>	1,01640	1,04083	24,43	45,37	<b>44,59</b>	
	22,10492	22,13444	29,52	54,82		1,00996	1,03359	23,63	43,89		
	22,11001	22,14132	31,31	58,15		1,00073	1,02470	23,97	44,52		
<b>1050</b>	22,28335	22,32200	38,65	71,78	<b>1030</b>	1,04442	1,07788	33,46	62,14	<b>62,95</b>	
	22,29891	22,33578	36,87	68,47		1,04515	1,07847	33,32	61,88		
	22,31104	22,34958	38,54	71,58		1,04600	1,08090	34,90	64,82		
<b>1250</b>	21,93019	21,97222	42,03	78,06	<b>1470</b>	0,81344	0,85515	41,71	77,46	<b>77,54</b>	
	21,94656	21,98797	41,41	76,91		0,82857	0,87035	41,78	77,59		
	21,96291	22,00498	42,07	78,13		0,84354	0,88531	41,77	77,57		
<b>1650</b>	21,73171	21,77548	43,77	81,29	<b>2070</b>	1,00647	1,05223	45,76	84,98	<b>84,71</b>	
	21,76042	21,80416	43,74	81,23		1,01931	1,06508	45,77	85,00		
	21,77561	21,81913	43,52	80,82		1,03094	1,07625	45,31	84,15		
<b>2400</b>	22,40061	22,44355	42,94	79,75	<b>3300</b>	0,92987	0,97675	46,88	87,06	<b>84,94</b>	
	22,42123	22,46125	40,02	74,32		0,94425	0,99130	47,05	87,38		
	22,43004	22,47001	39,97	74,23		0,95827	1,00155	43,28	80,38		
<b>3100</b>	21,84594	21,89393	47,99	89,13	<b>4100</b>	0,85324	0,89750	44,26	82,20	<b>81,93</b>	
	21,86645	21,91381	47,36	87,96		0,86455	0,90856	44,01	81,73		
	21,88642	21,93494	48,52	90,11		0,87598	0,92006	44,08	81,86		

HD-5 (A18G004434)					HD-6 (A18G004435)						
Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li					Lf	Li			
<b>570</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>570</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>740</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>740</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>780</b>	0,88806	0,90346	15,40	28,60	<b>780</b>	0,87470	0,89890	24,20	44,94	<b>43,17</b>	
	0,87216	0,87216	0,00	0,00		0,86456	0,88687	22,31	41,43		
	0,80832	0,82785	19,53	36,27		0,85199	0,87522	23,23	43,14		
<b>1030</b>	0,93211	0,96209	29,98	55,68	<b>1030</b>	0,91635	0,94999	33,64	62,48	<b>62,99</b>	
	0,93040	0,96149	31,09	57,74		0,91513	0,94909	33,96	63,07		
	0,92977	0,96099	31,22	57,98		0,91446	0,94861	34,15	63,42		
<b>1470</b>	0,73985	0,77975	39,90	74,10	<b>1470</b>	0,71010	0,75169	41,59	77,24	<b>77,46</b>	
	0,75448	0,79426	39,78	73,88		0,72394	0,76564	41,70	77,44		
	0,76923	0,80915	39,92	74,14		0,73798	0,77982	41,84	77,70		
<b>2070</b>	0,92852	0,97199	43,47	80,73	<b>2070</b>	0,88837	0,93337	45,00	83,57	<b>83,08</b>	
	0,94021	0,98385	43,64	81,05		0,89849	0,94373	45,24	84,02		
	0,95082	0,99416	43,34	80,49		0,90793	0,95189	43,96	81,64		
<b>3300</b>	0,85153	0,89476	43,23	80,29	<b>3300</b>	0,81739	0,86323	45,84	85,13	<b>85,63</b>	
	0,86320	0,90935	46,15	85,71		0,82953	0,87570	46,17	85,75		
	0,87719	0,92323	46,04	85,50		0,84140	0,88771	46,31	86,01		
<b>4100</b>	0,77752	0,82164	44,12	81,94	<b>4100</b>	0,74615	0,79305	46,90	87,10	<b>86,20</b>	
	0,78978	0,8332	43,42	80,64		0,75848	0,80494	46,46	86,28		
	0,80156	0,84544	43,88	81,49		0,77057	0,81646	45,89	85,23		

## ANEXO D - Cálculo do volume de ar medido, com escoamento no sentido inverso

HD-1 (A04M005112)						HD-2 (A12L266917)					
Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (m³)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (m³)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li					Lf	Li			
<b>780</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>780</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>1050</b>	5,75256	5,74920	3,36	6,24	<b>6,38</b>	63,94174	63,92029	21,45	39,84	<b>38,23</b>	
	5,78813	5,78473	3,40	6,31		63,96098	63,94173	19,25	35,75		
	5,82277	5,81923	3,54	6,57		63,98223	63,96118	21,05	39,09		
<b>1250</b>	5,57714	5,57182	5,32	9,88	<b>10,03</b>	63,86329	63,83273	30,56	56,76	<b>54,94</b>	
	5,61059	5,60515	5,44	10,10		63,87518	63,84538	29,80	55,34		
	5,64359	5,63814	5,45	10,12		63,88837	63,85998	28,39	52,73		
<b>2000</b>	5,18300	5,16625	16,75	31,11	<b>31,34</b>	63,67142	63,63652	34,90	64,82	<b>64,79</b>	
	5,20804	5,19115	16,89	31,37		63,67963	63,64479	34,84	64,70		
	5,23257	5,21559	16,98	31,53		63,68767	63,65275	34,92	64,85		
<b>2400</b>	6,22480	6,20749	17,31	32,15	<b>32,28</b>	64,15772	64,12394	33,78	62,74	<b>62,91</b>	
	6,24534	6,22806	17,28	32,09		64,16395	64,13012	33,83	62,83		
	6,26664	6,24908	17,56	32,61		64,1703	64,13629	34,01	63,16		
<b>3400</b>	5,36656	5,34682	19,74	36,66	<b>37,15</b>	63,73160	63,69432	37,28	69,24	<b>70,17</b>	
	5,38609	5,36601	20,08	37,29		63,73601	63,69794	38,07	70,70		
	5,39489	5,37470	20,19	37,50		63,72994	63,69194	38,00	70,57		

HD-3 (A13L059198)						HD-4 (A18G004433)					
Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (m³)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m³)		V <sub>med</sub> (m³)	V <sub>med</sub> (%)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li					Lf	Li			
<b>275</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>750</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>430</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	1,49446	1,47408	20,38	37,85	<b>42,56</b>	
	-	-	-	-		1,52022	1,49888	21,34	39,63		
	-	-	-	-		1,54547	1,51844	27,03	50,20		
<b>780</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	1,41749	1,39944	18,05	33,52	<b>35,84</b>	
	-	-	-	-		1,44385	1,42519	18,66	34,66		
	-	-	-	-		1,47000	1,44881	21,19	39,35		
<b>1050</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	1,26155	1,24761	13,94	25,89	<b>27,76</b>	
	-	-	-	-		1,28879	1,27367	15,12	28,08		
	-	-	-	-		1,31502	1,29923	15,79	29,32		
<b>1250</b>	22,04506	22,02268	22,38	41,56	<b>43,63</b>	1,20611	1,18463	21,48	39,89	<b>40,79</b>	
	22,06333	22,03922	24,11	44,78		1,22508	1,20267	22,41	41,62		
	22,07983	22,05584	23,99	44,55		1,24318	1,22118	22,00	40,86		
<b>2000</b>	21,82020	21,78802	32,18	59,76	<b>59,57</b>	1,17026	1,14254	27,72	51,48	<b>52,17</b>	
	21,82888	21,79690	31,98	59,39		1,18225	1,15364	28,61	53,13		
	21,83745	21,80539	32,06	59,54		1,19371	1,16576	27,95	51,91		
<b>2400</b>	22,43888	22,41042	28,46	52,86	<b>51,73</b>	1,06480	1,03814	26,66	49,51	<b>51,02</b>	
	22,45336	22,42546	27,90	51,82		1,07260	1,04462	27,98	51,96		
	22,46847	22,44126	27,21	50,53		1,07795	1,05017	27,78	51,59		
<b>3400</b>	21,90872	21,87408	34,64	64,33	<b>64,91</b>	1,06033	1,02457	35,76	66,41	<b>66,56</b>	
	21,91418	21,87920	34,98	64,96		1,05812	1,02231	35,81	66,51		
	21,90925	21,87401	35,24	65,45		1,05725	1,02131	35,94	66,75		
						1,06424	1,02866	35,58	66,08		
						1,06394	1,02839	35,55	66,02	66,04	
						1,06287	1,02733	35,54	66,00		

HD-5 (A18G004434)						HD-6 (A18G004435)					
Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>med</sub> ( %)	V <sub>med</sub> (%)	Vazão (L/h)	Leituras (m <sup>3</sup> )		V <sub>med</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>med</sub> ( %)	V <sub>med</sub> (%)
	Lf	Li					Lf	Li			
<b>750</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>	<b>750</b>	-	-	-	-	<b>0,00</b>
<b>815</b>	1,25177	1,24098	10,79	20,04	<b>24,02</b>	<b>815</b>	1,25482	1,22812	26,70	49,59	<b>47,27</b>
	1,28587	1,27582	10,05	18,66			1,27448	1,24904	25,44	47,25	
	1,32107	1,30311	17,96	33,36			1,29560	1,27138	24,22	44,98	
<b>875</b>	1,17146	1,15033	21,13	39,24	<b>32,37</b>	<b>875</b>	1,19885	1,17094	27,91	51,83	<b>51,59</b>
	1,19435	1,17808	16,27	30,22			1,21705	1,18912	27,93	51,87	
	1,22228	1,20739	14,89	27,65			1,23627	1,20878	27,49	51,05	
<b>1000</b>	1,00114	0,98906	12,08	22,43	<b>23,64</b>	<b>1000</b>	1,07784	1,05041	27,43	50,94	<b>50,61</b>
	1,03022	1,01636	13,86	25,74			1,09497	1,06807	26,90	49,96	
	1,05755	1,04530	12,25	22,75			1,11300	1,08557	27,43	50,94	
<b>1200</b>	0,94073	0,92034	20,39	37,87	<b>38,65</b>	<b>1200</b>	1,03824	1,00651	31,73	58,93	<b>58,73</b>
	0,96135	0,94023	21,12	39,22			1,05148	1,01965	31,83	59,11	
	0,98133	0,96041	20,92	38,85			1,06449	1,03318	31,31	58,15	
<b>1600</b>	0,88438	0,85493	29,45	54,69	<b>55,65</b>	<b>1600</b>	0,98642	0,95385	32,57	60,49	<b>60,15</b>
	0,89565	0,86577	29,88	55,49			0,99540	0,96363	31,77	59,00	
	0,90679	0,87622	30,57	56,77			1,00629	0,97347	32,82	60,95	
<b>2070</b>	0,81485	0,78059	34,26	63,63	<b>63,57</b>	<b>2070</b>	0,92094	0,88685	34,09	63,31	<b>63,47</b>
	0,82054	0,78637	34,17	63,46			0,92657	0,89238	34,19	63,50	
	0,82576	0,79150	34,26	63,63			0,93187	0,89762	34,25	63,61	
<b>3300</b>	0,79241	0,75683	35,58	66,08	<b>65,29</b>	<b>3300</b>	0,89993	0,86352	36,41	67,62	<b>67,86</b>
	0,79580	0,76058	35,22	65,41			0,90400	0,86754	36,46	67,71	
	0,80241	0,76775	34,66	64,37			0,90955	0,87280	36,75	68,25	
<b>4100</b>	0,77349	0,73776	35,73	66,36	<b>67,80</b>	<b>4100</b>	0,87435	0,83761	36,74	68,23	<b>67,54</b>
	0,77708	0,73925	37,83	70,26			0,87857	0,84229	36,28	67,38	
	0,77860	0,74264	35,96	66,78			0,88318	0,84710	36,08	67,01	

## ANEXO E – Código embarcado na placa Arduino

```

/*
 * Código embarcado em Arduino para dispositivo de medição de ar em pontos de abastecimento de
 água
 * Universidade Federal Fluminense (UFF)
 * Desenvolvido por: Gabriel Nascimento, Jorge Lourenço e William Tavares
 * Dispositivos: Arduino Mega, SD module, RTC DS1302, Hidrômetro com saída pulsada SAGA US-3,0
 * Última revisão: 14/09/2018
 */

//***** BIBLIOTECAS *****/
#include <SD.h> // Biblioteca do Módulo para cartão SD
#include <virtuabotixRTC.h> // Carrega a biblioteca virtuabotixRTC
(https://github.com/chrisfryer78/ArduinoRTClibrary)

//***** PARÂMETROS DE ENTRADA *****/
constStringNomeArqTxt = "Medicoes.txt"; //Nome do arquivo a ser gravado no cartão TXT
constfloatQmax = 2; //Vazao máx. mensurável (L/s) - evita contagem excessiva causada
pelo chaveamento do HD
constfloatVolPulso = 1; //Volume em Litros por pulso do HD
constint PinHD1 = 2; //Pino do arduino conectado ao hidrômetro 1 (HD1)
constint PinHD2 = 3; //Pino do arduino conectado ao hidrômetro 2 (HD2)
// consultar interruptores do modelo arduino utilizado
constint InterruptHD1 = 0; //Número do interruptor para o HD1,
constint InterruptHD2 = 1; //Número do interruptor para o HD2,
// conforme modelo do arduino e pinagem descrita acima
// (ex.: pino 2 -> interruptor 0)
constintPinSD_CS = 53; //Pino ligado ao CS do módulo SD
// os demais pinos dependem da conexão SPI (Serial Peripheral
Interface)
// do modelo de Arduino. Ex. placa Mega: SCK->52, MOSI->51,
MOSO->50.
constintPinRTC_CLK = 6; //Pino do arduino conectado ao Clock do RTC
constintPinRTC_DAT = 7; //Pino do arduino conectado ao Data do RTC
constintPinRTC_RST = 8; //Pino do arduino conectado ao Reset do RTC
constintPinLED_Verd = 10; //Pino ligado ao LED verde (sucesso na gravacao do SD)
constintPinLED_Verm = 11; //Pino ligado ao LED vermelho (falha na gravacao do SD)
constintPeriodoCiclo = 1; //Periodo de cada ciclagem do arduino em segundos
constintPeriodoLogSD = 1; //Intervalo de tempo (minutos) entre gravações no cartão SD

//***** VARIÁVEIS GLOBAIS *****/
longnreg = 1; // numero de registro
volatileint ContHD1 = 0; //Contagem do HD1
volatileint ContHD2 = 0; //Contagem do HD2
volatileunsignedlong tuiHD1 = 0; //Tempo do ultimo incremento da contagem de HD1
volatileunsignedlong tuiHD2 = 0; //Tempo do ultimo incremento da contagem de HD2
intunsignedlongtuLogSD = 1000000; //Tempo da ultima gravação no cartão SD
intdtHDmin = VolPulso*1000/Qmax; //Tempo minimo considerado entre dois pulsos consecutivos
em milisegundos
File ArquivoTXT; //Arquivo para gravação de dados no cartão SD
bool SD_OK = false; //Condicao de gravacao no cartao SD
bool RTC_OK = false; //Condicao de leitura de data e hora
StringTxtDataHora = ""; //Texto com data e hora
StringTxtLinhaMedicao = ""; //Texto da linha de medicao
//Módulo Real Time Clock (RTC) DS1302
virtuabotixRTCmyRTC(PinRTC_CLK,
PinRTC_DAT,
PinRTC_RST); // pinos conectados ao RTC (Clock, Data, Reset)

//***** ROTINAS AUXILIARES *****/
// Contagem dos HDS
void IncContHD1() {
if ((millis() < tuiHD1) || (millis()-tuiHD1 >dtHDmin)){
ContHD1++;
tuiHD1 = millis();
}
}
void IncContHD2() {
if ((millis() < tuiHD2) || (millis()-tuiHD2 >dtHDmin)){
ContHD2++;
tuiHD2 = millis();
}
}
}

```

```

// Abre ou cria o arquivo e escreve o cabeçalho
void GravaInicioArq() {
ArquivoTXT = SD.open(NomeArqTxt, FILE_WRITE);
if (ArquivoTXT)
{
DefSD(          ArquivoTXT.println("=====")); // linha
divisória
DefSD(SD_OK &&ArquivoTXT.println("Data e hora; Contagem do HD1; Contagem do HD2")); //
cabeçalho
DefSD(SD_OK &&ArquivoTXT.println("-----")); // linha
divisória
if (SD_OK) {Serial.println("Cabeçalho gravado com sucesso no arquivo.");}
else
{Serial.println("Erro na gravação do cabeçalho no arquivo !!!");};
ArquivoTXT.close();
}
else
{
Serial.println("Erro ao abrir o arquivo !!!");
}
}
// Inicializa a biblioteca e o cartão SD
void IniciaSD() {
if (DefSD(SD.begin(PinSD_CS))) {
Serial.println("Cartao SD inicializado com sucesso.");
GravaInicioArq();
}
else
{Serial.println("Erro na inicialização do SD !!!");};
}
// Prepara o texto com data e hora
voidAtualizaDataHora(){
String dia, mes, ano, h, m, s;
myRTC.updateTime(); // Carrega a data e hora do RTC
ano = String(myRTC.year);
mes = String(myRTC.month);
if (myRTC.month< 10) {mes = "0" + mes;};
dia = String(myRTC.dayofmonth);
if (myRTC.dayofmonth< 10) {dia = "0" + dia;};
h = String(myRTC.hours);
if (myRTC.hours< 10) {h = "0" + h;};
m = String(myRTC.minutes);
if (myRTC.minutes< 10) {m = "0" + m;};
s = String(myRTC.seconds);
if (myRTC.seconds< 10) {s = "0" + s;};
TxtDataHora = dia + "/" + mes + "/" + ano + " " + h + ":" + m + ":" + s;
RTC_OK = (myRTC.month != 0);
if (!RTC_OK) {digitalWrite(PinLED_Verm, HIGH);};
if (RTC_OK && SD_OK) {digitalWrite(PinLED_Verm, LOW);};
}
// Prepara uma linha de texto com a medicao
void GravaMedicaoSD(){
ArquivoTXT = SD.open(NomeArqTxt, FILE_WRITE);
if (ArquivoTXT) {
TxtLinhaMedicao = TxtDataHora + "; " + ContHD1 + "; " + ContHD2;
DefSD(ArquivoTXT.println(TxtLinhaMedicao));
if (SD_OK) {
Serial.println("Medicao gravada com sucesso no arquivo.");
tuLogSD = millis();}
else {
Serial.println("Erro na gravação da medicao no arquivo !!!");};
ArquivoTXT.close();
}
else {
Serial.println("Erro ao abrir o arquivo !!!");
}
}
// Retorna se é hora de gravar no cartão SD
// (se o tempo decorrido desde a última gravacao é maior que PeríodoLogSD)
booleanHoraDeLogSD() {
if ((tuLogSD>millis()) || ((millis() - tuLogSD)/1000 >PeríodoLogSD*60)) {
return true;}

else {
return false;}
}
}

```

```

// Envia a medicao pela porta serial
voidEnviaMedicaoSerial(){
Serial.println("Data e hora: " + TxtDataHora +
"; HD1: " + String(ContHD1) +
"; HD2: " + String(ContHD2));
}
// Define situacao da gravacao no SD
bool DefSD(bool _SD_OK) {
SD_OK = _SD_OK;
if (_SD_OK) {
digitalWrite(PinLED_Verd, HIGH);
digitalWrite(PinLED_Verm, LOW);
} else {
digitalWrite(PinLED_Verd, LOW);
digitalWrite(PinLED_Verm, HIGH);
}
if (!RTC_OK) {digitalWrite(PinLED_Verm, HIGH);}
return SD_OK;
}

//***** INICIALIZAÇÃO DO ARDUINO *****
voidsetup()
{
Serial.begin(9600); //Comunicacao com a porta serial
//Ajuste da hora no RTC
//(segundo, minuto, hora, dia da semana (domingo=1), dia do mês, mês, ano)
//caso a hora certa já esteja ajustada, manter a linha abaixo comentada (//)
//myRTC.setDS1302Time(20, 8, 12, 5, 13, 9, 2018); Serial.println("Data e hora do RTC
ajustada");
//Definicao dos pinos de contagem dos HDs
pinMode(PinHD1, INPUT);
pinMode(PinHD2, INPUT);
attachInterrupt(InterruptHD1, IncContHD1, RISING); //funcao chamada pela interrupção
attachInterrupt(InterruptHD2, IncContHD2, RISING); //funcao chamada pela interrupção

//Definicao dos pinos dos LEDs
pinMode(PinLED_Verd, OUTPUT);
pinMode(PinLED_Verm, OUTPUT);
digitalWrite(PinLED_Verd, LOW);
digitalWrite(PinLED_Verm, LOW);
}

//***** ROTINA GERAL DE LOOP DO ARDUINO *****
voidloop()
{
AtualizaDataHora(); // atualiza data e hora
EnviaMedicaoSerial(); // envia dados da medicao pela comunicacao serial
if (HoraDeLogSD()) {
if(!SD_OK) {IniciaSD();} // inicializacao do módulo de cartão SD
if (SD_OK) {GravaMedicaoSD();} // grava dados da medicao no cartao SD
}
delay(PeriodoCiclo*1000); //Pausa entre ciclos
}

```