

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA DUREZA CÁLCICA DA ÁGUA  
DISTRIBUÍDA NA ACURÁCIA DOS EQUIPAMENTOS DE  
MICROMEDIÇÃO**

**Valter de Souza Lucas Júnior**

**Belo Horizonte  
2011**

**Valter de Souza Lucas Júnior**

**Avaliação da influência da dureza cálcica da água distribuída na  
acurácia dos equipamentos de micromedição**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia Sanitária e Tecnologia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental

Orientador: Professor Marcelo Libânio

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2011

Assinaturas dos membros da banca examinadora:

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela bela vida, aos meus pais pela resiliência e motivação na educação dos filhos, à minha amada esposa pelo apoio, aos meus irmãos, ao Professor Marcelo Libânio por acreditar nos meus objetivos e à Companhia de Saneamento de Minas Gerais – Divisão de Hidrometria, razão desta pesquisa.

## RESUMO

A necessidade de aprimoramento da medição de água, combinada com os objetivos da gestão deste importante recurso para a existência da vida, ensejou um questionamento cuja resposta só pode ser encontrada pelo desenvolvimento de pesquisas desta natureza. Este, por sua vez, relaciona a eficácia da medição em relação à qualidade de água, especificamente a sua dureza. Com este objetivo, 45 amostras de hidrômetros foram retiradas da cidade de Montes Claros, no Estado de Minas Gerais, onde a dureza total da água de abastecimento é superior a 200 mg/L CaCO<sub>3</sub>. Essas amostras foram submetidas aos ensaios de determinação de erros de indicação, em bancadas de verificação metrológica do Laboratório de Hidrometria da Copasa, atendendo aos requisitos exigidos pela norma brasileira de regulamentação da medição de água. Posteriormente, estes micromedidores foram desmontados e as turbinas retiradas de sua estrutura interna, mecanismo que move e transmite o volume de água totalizado à relojoaria. Notou-se aumento e/ou diminuição de peso da turbina em decorrência de incrustações cálcicas e incidência de corrosão no material, dependendo do modelo e fabricante do hidrômetro, o que poderá causar submedição por alterar as condições definidas em projeto. Adicionalmente, notou-se que os erros de medição relacionam-se mais significativamente com o volume totalizado do que com o tempo decorrido após a instalação do equipamento.

# SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E TERMINOLOGIAS .....	7
LISTA DE FIGURAS E TABELAS .....	8
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2. OS PRINCIPAIS OBJETIVOS DA GESTÃO DE UM PARQUE DE MICROMEDIDORES .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3. MICROMEDIDORES .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4. COMPONENTES DO HIDRÔMETRO .....</b>	<b>18</b>
3.4.1. <i>Carcaça</i> .....	18
3.4.2. <i>Kit</i> .....	19
3.4.3. <i>Relojoaria</i> .....	19
3.4.4. <i>Turbina</i> .....	20
3.4.5. <i>Dispositivo de transmissão</i> .....	20
3.4.6. <i>Filtro</i> .....	21
3.4.7. <i>Lacre</i> .....	22
<b>3.5. TIPOS DE VAZÃO APLICADA A HIDRÔMETROS .....</b>	<b>22</b>
3.5.1. <i>Vazão máxima</i> .....	22
3.5.2. <i>Vazão nominal</i> .....	22
3.5.3. <i>Vazão de transição</i> .....	23
3.5.4. <i>Vazão mínima</i> .....	23
3.5.5. <i>Início de movimento</i> .....	23
<b>3.6. ERROS ADMISSÍVEIS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.7. DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ERROS DOS MICROMEDIDORES .....</b>	<b>24</b>
<b>3.8. BANCADAS DE DETERMINAÇÃO DE ERROS DE INDICAÇÃO EM MICROMEDIDORES.....</b>	<b>25</b>
<b>3.9. QUALIDADE DA ÁGUA DISTRIBUÍDA .....</b>	<b>25</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
<b>4.1. PLANO DE AMOSTRAGEM DOS MICROMEDIDORES .....</b>	<b>27</b>
<b>4.2. DETERMINAÇÃO DA CURVA DE ERROS DOS MICROMEDIDORES .....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. DETERMINAÇÃO DAS MASSAS DAS TURBINAS .....</b>	<b>28</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>29</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>32</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E TERMINOLOGIAS

- **Classe metrológica** - Sensibilidade do micromedidor na medição do volume de água que o atravessa, quando funcionando em baixas vazões.
- **Erros de indicação** – Erros admissíveis de medição do hidrômetro.
- **Faixa de medição** – Intervalo entre as vazões mínimas (inclusive) e máximas (inclusive) micromedidas.
- **Faixa inferior de medição** - Intervalo entre a vazão mínima (inclusive) e a vazão de transição (exclusive).
- **Faixa superior de medição** - Intervalo entre a vazão de transição (inclusive) e vazão máxima (exclusive).
- **Perda aparente** – Água produzida, distribuída e não convertida em receita.
- **Regulador** – Parafuso de regulagem que tem a função de alterar e/ou desviar o fluxo de água com o objetivo de ajustar a faixa de erro do micromedidor, enquadrando-o dentro das normas estabelecidas.
- **Vazão máxima ( $Q_{max}$ )** - Maior vazão admissível na qual o hidrômetro pode funcionar por tempo limitado.
- **Vazão mínima ( $Q_{min}$ )** – Menor vazão na qual o hidrômetro pode funcionar dentro da faixa de erros admissíveis.
- **Vazão nominal ( $Q_{nom}$ )** - Vazão identificadora do hidrômetro e correspondente a 50% da vazão máxima.
- **Vazão de transição ( $Q_t$ )** - Vazão que define o ponto a partir do qual o hidrômetro muda de faixa de erros admissíveis.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

**FIGURA 1:** Curva típica de micromedição para hidrômetros classe metrológica A, B e C.

**FIGURA 2:** Micromedidores de água velocimétricos unijato.

**FIGURA 3:** Micromedidores de água velocimétricos multijato.

**FIGURA 4:** Carcaça de hidrômetro.

**FIGURA 5:** Mecanismo de medição do hidrômetro.

**FIGURA 6:** Dispositivo totalizador.

**FIGURA 7:** Turbina.

**FIGURA 8:** Dispositivo de transmissão.

**FIGURA 9:** Filtro.

**FIGURA 10:** Lacre.

**FIGURA 11:** Gráfico dos campos de medição dos hidrômetros.

**FIGURA 12:** Bancada de ensaios de determinação de erro.

**FIGURA 13:.** Erros apresentados em decorrência do volume totalizado.

**FIGURA 14:** Turbina com incrustação.

**FIGURA 15:** Turbina marca B com desgaste.

**FIGURA16:.** Erros de medição da vazão mínima em função do volume totalizado e variação do peso das turbinas da amostra.

**TABELA 1:** Vantagens e desvantagens dos medidores velocimétricos.

# 1.INTRODUÇÃO

Em Minas Gerais, a Copasa detém a concessão de 63 % dos 851 municípios do Estado, atendendo 12 milhões de pessoas com água tratada e, para isso, são necessários aproximadamente 3.400.000 micromedidores (Copasa, 2010).

Segundo Nielsen et al. (2003), a população de uma cidade e a sua atividade permite compor um quadro socioeconômico dos usuários de um sistema de abastecimento de água. Estes usuários têm um comportamento determinado por suas necessidades, hábitos e ocupações. O saneamento é uma das necessidades básicas dos usuários que também se ocupam com atividades educacionais, sociais, comerciais, industriais e outras mais, portanto, consomem água. Assim, de um lado tem-se a população com suas necessidades e, de outro, as empresas de saneamento com seus custos, objetivos, metas, e ainda os mananciais com suas limitações naturais.

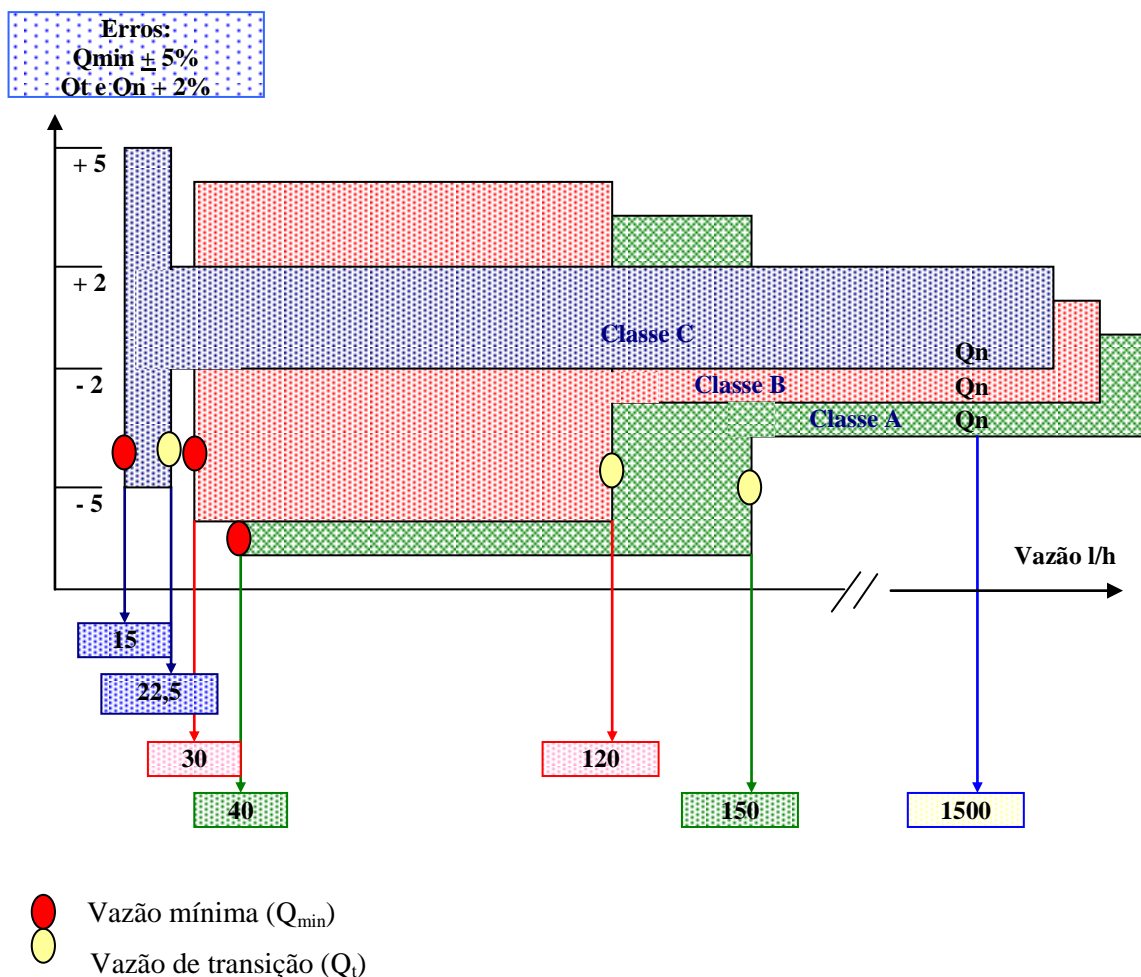
O volume de água consumido pelos usuários de água é contabilizado ou medido por aparelhos denominados hidrômetros ou micromedidores, os quais são homologados, testados e aprovados. Com o resultado de sua totalização, é emitida uma fatura para a cobrança dos volumes consumidos. O hidrômetro deve ser apto para medir com exatidão e estar de acordo com as exigências de metrologia legal. Para que se tenha um baixo índice de perdas físicas e de faturamento, todas as ligações, sem exceção, devem ser equipadas com micromedidores de água.

Neste sentido, a correta medição dos volumes de água torna-se um importante aliado no combate ao desperdício. Contudo, devido às características construtivas dos hidrômetros utilizados no País e à cultura quanto ao uso de reservatórios de água nas edificações, a submedição está presente em quase todas as ligações de água. Sua magnitude depende não somente das características dos micromedidores utilizados, mas também da qualidade da água distribuída, do perfil de consumo dos clientes, entre outros fatores.

A Copasa possui 99,86% de suas ligações hidrometradas e um índice médio de 231,6 L/ligação/dia de água não convertida em receita. Parte deste problema se deve às interferências na medição de água fornecida a seus clientes. Para atualidade, tempo em que a sustentabilidade e o uso racional dos recursos são fundamentais para os empreendimentos, a gestão de hidrometria é uma preocupação dos prestadores dos serviços de saneamento que buscam a efetividade na medição de água. Estas constatações manifestam-se nos aparelhos

instalados em sistemas abastecidos por água com dureza significativa, comumente captada em mananciais subterrâneos. A empresa possui aproximadamente 7.000 poços perfurados em todo Estado, incluindo convênios com prefeituras e saneamento rural. Grande parte destes está localizada em regiões geológicas com características calcárias.

Parcela da ordem de 80% do parque de hidrômetros da Companhia, como as demais concessionárias do País, utiliza hidrômetros classe metrológica B, para os quais a vazão nominal é 750 L/h para os de capacidade Y ou 1.500L/h para os de capacidade A. A vazão de transição (faixa de medição entre as vazões mínima e nominal) é 60 L/h para os de capacidade Y e 120L/h para os de capacidade A. As vazões mínimas são 15L/h para a capacidade Y e 30L/h para os de capacidade A, mostrados na Figura 1.



**FIGURA 1:** Intervalo típico de micromedição para hidrômetros classe metrológica A, B e C.  
**Fonte:** Manual para leituristas - Copasa 2005.

Tais vazões apresentam distintos erros máximos admissíveis de medição, conforme Portaria Inmetro 246 de 2.000, que distingue os equipamentos novos dos em uso. Para os primeiros, o erro da vazão nominal (metade da capacidade do aparelho) e a de transição são  $\pm 2 \%$ , elevando-se para  $\pm 5 \%$  para os hidrômetros em uso e para vazão mínima. Esta distinção reporta-se a  $\pm 5 \%$  para os equipamentos novos, elevando-se para  $\pm 10 \%$  para os hidrômetros em uso.

O hidrômetro é constituído por partes como: carcaça, kit e a relojoaria. Neste conjunto há um túnel de entrada de água e, dentro deste, uma câmara que contém uma turbina com área e peso definido em projeto, de forma que em cada giro da mesma há a transmissão para relojoaria, pelas de engrenagens, do volume de água escoado através do equipamento.

Segundo Rech (1992), o hidrômetro é um aparelho destinado a indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa. Diante disso, considera-se de suma importância para uma medição eficiente que o medidor não sofra alterações em seus componentes internos, como por exemplo, o aumento de peso da turbina, incrustações na câmara de medição e/ou alterações no fluxo de água. Neste contexto, tem-se observado no Laboratório de Hidrometria da Copasa, micromedidores com camadas de material incrustado em seus componentes internos. Estes equipamentos são provenientes da substituição por procedimentos comerciais, manutenção, programa de melhoria da qualidade de medição e ou pelo prazo de 5 anos determinado pela Portaria 246 do Inmetro. Essa incrustação aumenta o peso da turbina, o que poderá causar submedição, tendo em vista que este dispositivo tem em projeto, uma relação de peso e a força inicial do fluido para que este possa entrar em rotação. Em Minas Gerais, boa parte do Estado possui águas com características duras, principalmente nas regiões norte e nordeste.

## **2. OBJETIVOS**

### ***2.1. Objetivo geral***

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência da incrustação, devido à magnitude da dureza cálcica da água distribuída, na acurácia dos equipamentos de micromedição.

### ***2.2. Objetivos específicos***

- Verificação dos erros de indicação dos micromedidores da amostra, a evolução da incrustação calcária em suas turbinas no decorrer do tempo de instalação e sua relação com os resultados metrológicos.
- Verificação dos erros de indicação dos micromedidores no decorrer do volume totalizado, a evolução da incrustação calcária em suas turbinas e a sua relação com os resultados metrológicos.

### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1. Considerações iniciais**

No Brasil, embora usualmente as águas de dureza mais significativa originem-se de mananciais subterrâneos, Montes Claros (abastecida por manancial superficial) constitui-se clara exceção. As águas de abastecimento desta cidade apresentam dureza média superior a 200 mg/L CaCO<sub>3</sub>.

De acordo com o relatório da Agência Nacional das Águas (ANA, 2002), as águas naturais da sub-bacia na região de Montes Claros apresentam-se como bicarbonatadas cálcicas, de baixa concentração de sólidos totais dissolvidos (<100mg/L), ricas em CO<sub>2</sub> dissolvido, baixo pH e agressivas. As mesmas estão associadas aos sistemas aquíferos granulares de cobertura Terciária – Quartenária, aos arenitos cretáceos da formação Urucaia e aos quartzitos do grupo Espinhaço na sua borda oriental.

No domínio dos aquíferos do grupo Bambuí, as águas classificam-se como bicarbonatadas cálcicas a calco-magnesianas, com maiores valores sólidos totais dissolvidos, de condutividade elétrica, dureza, pH e alcalinidade. As concentrações de sulfatos são em geral inferiores a 20mg/L e as de cloretos inferiores a 50 mg/L.

No domínio dos aquíferos fissurais associados aos granitos-gnaiss, as águas do tipo bicarbonatadas-cloretadas, em rochas xistosas do embasamento, as águas são bicarbonatadas calco-magnesianas, com salinidade moderada a alta, e progressivo aumento de cloretos e sulfatos, com maior incidência na porção nordeste a leste da bacia.

O principal manancial superficial de Montes Claros – vazão captada da ordem de 600 L/s – localiza-se na bacia do Rio Verde Grande, que pertencente às bacias dos rios Jequitinhonha e Pardo, e conseqüentemente do São Francisco. O Rio Verde Grande corre do sul para o norte, drenando, principalmente, terrenos carbonáticos do grupo Bambuí e sedimentos de cobertura eluviais e coluviais do Terciário-Quartenário.

A maior parte das análises de água disponíveis na sub-bacia refere-se às amostras coletadas no sistema aquífero Bambuí, abrangendo as fácies carbonáticas e pelíticas carbonática. Cerca de 60% das águas apresentam valores de condutividade elétrica próximos de 750 µS/cm<sup>3</sup>.

Ainda segundo a ANA (2002), em 220 análises de dureza de água, 40 apresentaram valores entre 100 e 200 mg/L de CaCO<sub>3</sub> (águas moderadamente duras) e a grande maioria, 165 análises (75% do total) se enquadraram na categoria de águas muito duras, com valores aproximados a 500 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Em geral, não há restrições ao uso agrícola e pecuário, mas para consumo humano, a dureza representa como a principal restrição em algumas áreas, principalmente para distribuição de água.

Segundo a Copasa (2008), o sistema de abastecimento de Montes Claros possui duas estações de tratamento e cinco poços fornecedores de água para distribuição. Um total de 99 análises realizadas no período de janeiro a julho de 2008 apresentou média mínima de 101 mg/L no sistema Verde Grande de manancial superficial, responsável por mais de 50% do volume distribuído, e máxima de 275 mg/L em aquífero freático de baixa vazão. Os poços freáticos foram desativados em julho de 2008 com a ampliação das estações de tratamento e um dos fatores para esta decisão foi os valores elevados de dureza.

### ***3.2. Os principais objetivos da gestão de um parque de micromedidores***

Os objetivos principais de um parque de micromedidores consistem em viabilizar a aplicação das estratégias definidas dentro dos limites das possibilidades tecnológicas disponíveis, selecionando, dimensionando, instalando e mantendo equipamentos para garantia de uma medição correta de água.

Pereira (2006) afirma que a seleção de um micromedidor de água adequado é governada por muitas variáveis, incluindo o seu custo e também a relação custo/benefício. A situação ideal seria na qual o rendimento da medição fosse 100%, ou seja, que toda água que passasse pelo medidor fosse integralmente medida com plena exatidão. Contudo, em termos reais, nem sempre esta situação é possível e/ou viável. A criação de setores típicos de abastecimento, o levantamento de perfil de consumo e a conseqüente elaboração dos histogramas de consumo que determinem a intensidade, frequência e duração das vazões possibilitam o dimensionamento mais adequado dos micromedidores de água.

Conforme Coelho (1996), o estudo de setores típicos de abastecimento tem-se constituído em uma estratégia muito adotada para o conhecimento com profundidade dos aspectos que condicionam o funcionamento de um setor da rede de distribuição de água. Desta forma, com o conhecimento da situação real em que operam as redes de distribuição de água, podem ser estabelecidas políticas que permitam otimizar a operação em termos técnicos e comerciais,

garantindo a viabilidade econômica e financeira da empresa. São comuns, no Brasil, concessionárias de abastecimento de água operar com os índices de perdas aparentes entre 40 e 50%, por vezes minimizados pelo valor do volume mínimo tarifado ou taxa mínima usualmente conhecido.

### **3.3.Micromedidores**

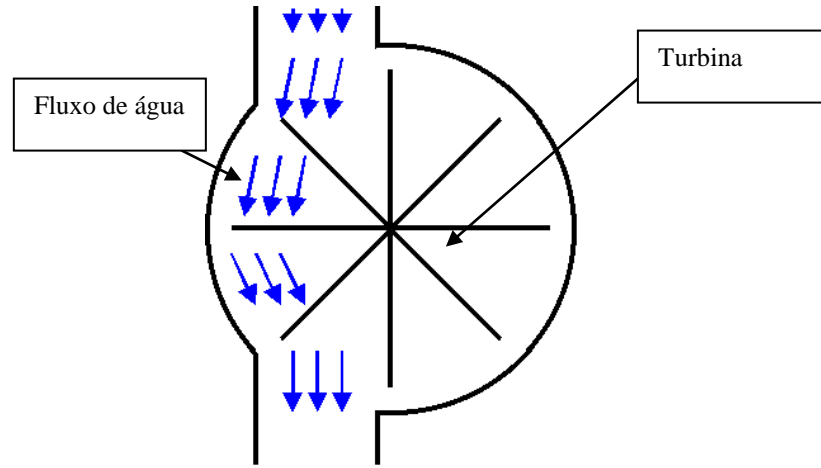
Segundo Senra (2009), o princípio de operação dos micromedidores velocimétricos realiza-se com a água passando através de um ou de vários orifícios calibrados e se introduz em uma câmara de medição, perpendicularmente e/ou tangencialmente às palhetas de uma turbina, movimentando-a. Quanto maior a vazão, maior é a velocidade de ataque às palhetas. O número de voltas da turbina é então proporcional à velocidade de escoamento da água e a partir do diâmetro da tubulação determina-se a vazão escoada. As vantagens e desvantagens deste equipamento são demonstradas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Vantagens e desvantagens dos micromedidores velocimétricos

<b>Principais vantagens</b>	<b>Principais Desvantagens</b>
Baixa perda de carga (principalmente os unijatos).	Vida útil menor (relativo ao volumétrico);
Possibilidade de funcionamento além dos limites de projeto em condições de emergências;	Necessidade de um posicionamento perfeito (nivelado na horizontal e no prumo);
Menor sensibilidade a sólidos em suspensão na água.	Risco de submedição ou de sobre medição.
Menor sensibilidade ao golpe de aríete;	
Preço menor (relativo aos volumétricos);	

**Fonte:** Milton et. Al (2003).

SENRA (2009) demonstra o funcionamento dos micromedidores velocimétricos unijato. Toda corrente de água é guiada por um conduto injetor e incide nas palhetas da turbina, tangencialmente e na forma de um único jato. A turbina é acionada por este único jato, demonstrado através do esquema da Figura 2, devido às suas condições de fluxo e tem como resultante um empuxo radial que atua sobre a turbina.



**FIGURA 2:** Esquema do fluxo de água dos medidores velocimétricos unijato.

**Fonte:** Manual para leituristas - Copasa 2005

Tais equipamentos devem ser instalados na posição horizontal e alternativamente são fabricados para instalação na posição vertical, mas com prejuízo para suas características metrológicas. Quando instalados verticalmente apresentam submedições da ordem de 30%. Estão disponíveis nas classes A, B e C e nos diâmetros nominais normalizados de 15 mm a 100 mm. São mais sensíveis às condições de instalação ou às condições de aproximação do fluxo de água, e menos sensíveis à passagem de sólidos em suspensão que eventualmente a água possa transportar, deixando-os passar livremente sem serem travados.

Estes micromedidores necessitam de boas condições de instalação, trechos retos de tubulações à montante e a jusante, boas condições de aproximação do fluxo de água para serem utilizados nas melhores condições. Os micromedidores velocimétricos unijato são os mais utilizados pelas empresas prestadoras de serviço de saneamento, por serem mais resistentes aos sólidos em suspensão, ou seja, travam menos e seu custo é menor em relação aos demais.

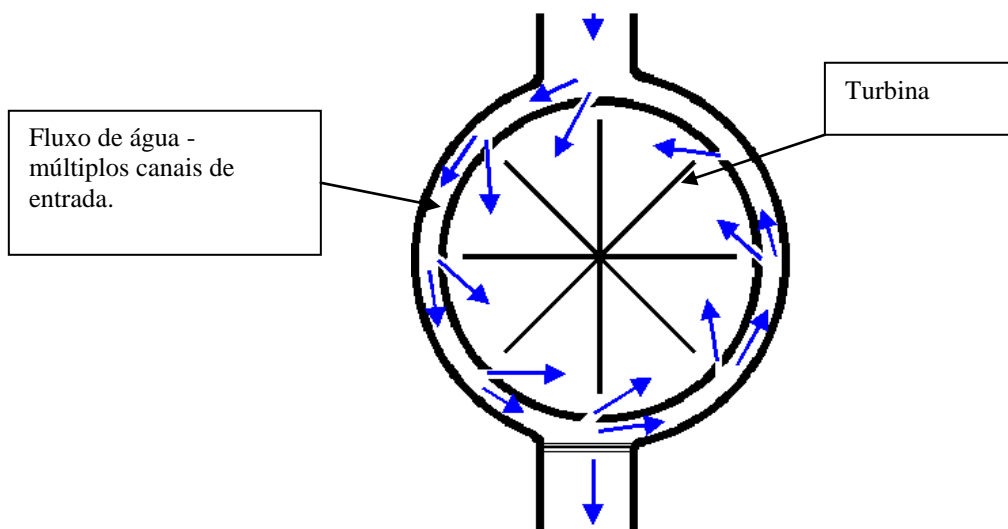
Já os micromedidores velocimétricos multijato, a corrente de água é dividida por intermédio de uma caixa injetora (câmara de distribuição) em múltiplos jatos e estes incidem igualmente nas palhetas da turbina.

A caixa injetora distribui a corrente de água em múltiplos jatos e orienta o fluxo no sentido de baixo para cima, provocando um empuxo axial no mesmo sentido que atua na turbina e melhora a sua sensibilidade e diminui o seu desgaste. E também devido às suas condições de fluxo praticamente anula a resultante do empuxo radial que atua sobre a turbina. A turbina é acionada por múltiplos jatos.

Devem ser instalados na posição horizontal e no prumo, eixo da turbina na vertical, e normalmente estão disponíveis nas classes metrológicas A, B e C, nos diâmetros nominais de 15 mm a 50 mm e são menos sensíveis às condições de instalação ou às condições de aproximação do fluxo de água do que os unijatos.

Também são pouco sensíveis às passagens de impurezas ou sólidos em suspensão que eventualmente a água possa transportar, deixando-os passar sem serem travados, porém mais sensíveis que os micromedidores unijato, devido às diferenças entre as suas câmaras de medição.

Estes micromedidores necessitam de boas condições de instalação, trechos retos de tubulações, a montante e a jusante e boas condições de aproximação do fluxo de água para serem utilizados nas melhores condições (RECH,1992). Na Figura 3 apresenta-se desenho esquemático do escoamento no interior de um medidor.



**FIGURA 3:** Micromedidores de água velocimétricos multijato.

**Fonte:** Manual para Leituristas – Copasa 2005.

### **3.4. Componentes do hidrômetro**

#### **3.4.1. Carcaça**

É a peça utilizada para alojar os dispositivos de medição e direcionar o fluxo, possuindo área definida e delineada, conforme mostra a Figura 4.



**FIGURA 4:** Carcaça de hidrômetro

### **3.4.2. Kit**

No mecanismo de medição do hidrômetro são realizadas as transmissões magnéticas com a rotação da turbina e as engrenagens propulsoras dos roletes contabilizadores, demonstrados pela Figura 5.



**FIGURA 5:** Mecanismo de medição do hidrômetro

### **3.4.3. Relojoaria**

Constitui o mecanismo de medição do hidrômetro, composto de engrenagens e totalizador, neste componente é que se realizam as leituras de volume consumido pelos usuários das prestadoras de serviços de abastecimento de água. A Figura 6 demonstra este mecanismo.



**FIGURA 6:** Dispositivo totalizador de volume de água

#### **3.4.4. Turbina**

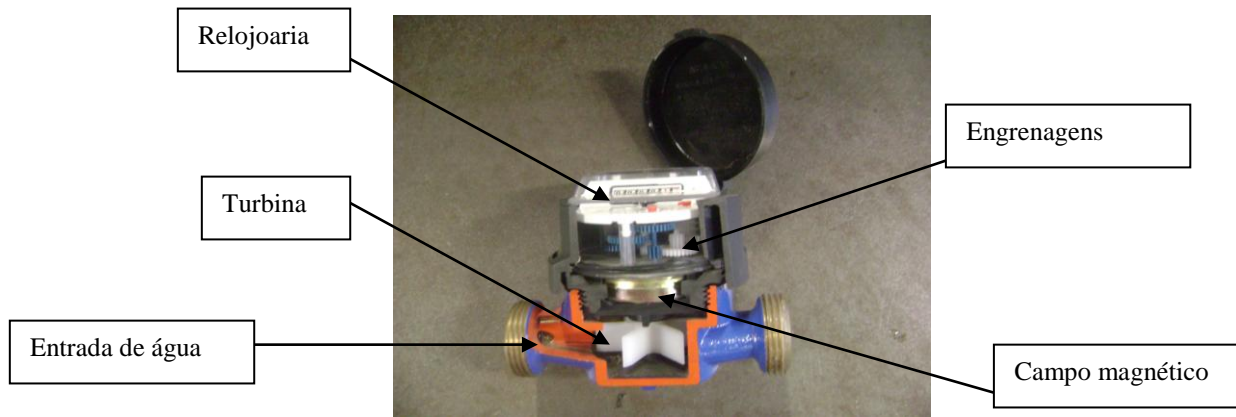
Dispositivo provido de palhetas que são rotacionadas com a passagem da água. É um importante componente do hidrômetro, pois suas dimensões determinam o volume de água por volta, transmitindo através de campo magnético e engrenagens, o volume total consumido. Construídas em plástico, são fixadas por um eixo de metal que proporcionam menor atrito possível, fazendo-as funcionar livremente. Este dispositivo é mostrado na Figura 7.



**FIGURA 7:** Turbina, componente característico dos medidores velocimétricos

#### **3.4.5. Dispositivo de transmissão**

Elemento do kit que transmite o movimento da turbina para a relojoaria, mostrados pela Figura 8.



**FIGURA 8:** Dispositivo de transmissão constituído por sistema de engrenagens.

A transmissão do movimento ocorre das seguintes formas:

- Por contato físico através de engrenagens (hidrômetro mecânico);
- Pelo campo magnético entre dois ímãs (hidrômetro magnético)

Basicamente o funcionamento de um hidrômetro se processa da seguinte forma: a água em movimento aciona a turbina e através de ímãs ou engrenagens este movimento é transmitido para a relojoaria, que é a parte onde se lê o volume de água que o atravessa.

#### 3.4.6. Filtro

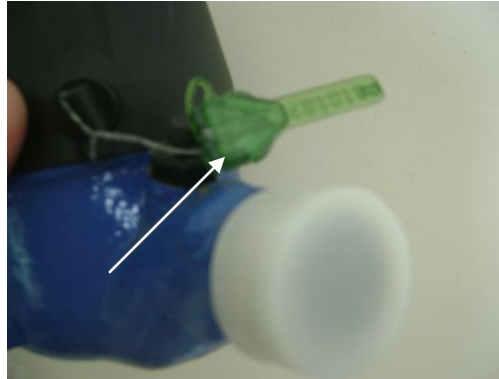
Elemento utilizado para reter possíveis sólidos que porventura seja transportado pela água conforme demonstrado na Figura 9. A importância deste se dá pelo fato de que qualquer partícula sólida poderá ocasionar danos no medidor e interferir na qualidade da medição.



**FIGURA 9:** Filtro característico dos medidores velocimétricos.

### 3.4.7. Lacre

O hidrômetro deve ser dotado de dispositivo que permite a sua lacração, de maneira a assegurar sua inviolabilidade. O hidrômetro é um equipamento que seu resultado gera conversão financeira, sendo assim, o lacre é a forma de evitar adulterações nas condições normais de seu funcionamento. Deve ser fixado entre o kit e a carcaça do hidrômetro e, na carcaça, passando pelo parafuso de regulagem. A Figura 10 ilustra este dispositivo.



**FIGURA 10:** Lacre, sistema de proteção contra violação

## 3.5. Tipos de vazão aplicada a hidrômetros

### 3.5.1. Vazão máxima

É a maior vazão admissível no medidor. É dada em litros por hora (L/h) ou em ( $m^3/h$ ) e representa a maior vazão com a qual o medidor pode operar por curto espaço de tempo, sem que apresente perda de carga superior a 10 metros de coluna de água. A vazão máxima é erroneamente confundida com a capacidade do hidrômetro. De fato, ele tem capacidade temporária para trabalhar na vazão máxima, isto é, na maior vazão possível, mas se danificará muito rapidamente pelo excessivo desgaste dos mecanismos. (RECH, 1992).

### 3.5.2. Vazão nominal

Esta corresponde à metade da vazão máxima, ou seja, se um hidrômetro apresenta  $Q_{max}$ . de  $3m^3/h$ , sua  $Q_n$  é  $1,5 m^3/h$ . Um medidor que trabalha nesta vazão não deveria apresentar desgastes e variações capazes de influenciar consideravelmente no seu desempenho, nem no erro absoluto de registro. A  $Q_n$  é denominada vazão de trabalho, desta forma, hidrômetro de  $Q_n$  de  $1,5m^3/h$ , refere-se a um hidrômetro específico e perfeitamente identificado. (RECH, 1992).

### **3.5.3. Vazão de transição**

É a vazão intermediária, aquela que separa a faixa inferior de medição da faixa superior. Corresponde a 5% da vazão máxima. Portanto, no hidrômetro de vazão máxima de 3m<sup>3</sup>/h, sua vazão de transição será de 150 L/h (RECH, 1992).

### **3.5.4. Vazão mínima**

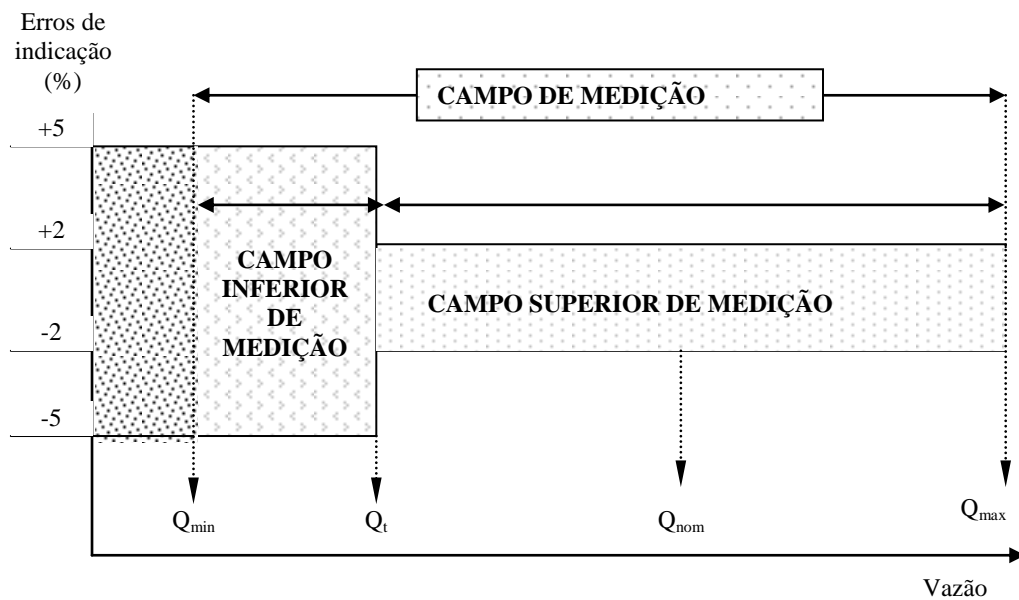
É aquela a partir da qual o hidrômetro começa a indicar volumes dentro da faixa de medição. É a menor vazão de trabalho do medidor com indicações dentro dos erros admitidos por normas técnicas. A partir da vazão mínima, e acima dela, o registro feito pela relojoaria está dentro dos erros tolerados. (RECH, 1992).

### **3.5.5. Início de movimento**

O início de movimento é caracterizado pela vazão a partir da qual o hidrômetro começa a indicar movimento das partes móveis. É a menor vazão possível, capaz de vencer todas as resistências passivas do mecanismo. Entre o início de movimento e a vazão mínima, o medidor não trabalha dentro dos erros tolerados. Até que seja atingida, portanto, a vazão mínima, o hidrômetro pode operar com erros fora do padrão permitido. Neste caso a prejudicada é a fornecedora de água com o consumidor saindo beneficiado, já que as pequenas vazões que antecedem a vazão mínima, de 15L/h para medidores com Qn 0,75m<sup>3</sup>/h e classe B por exemplo, possibilitam que este volume não seja registrado e não contabilizado para cobrança. Por isso já é possível admitir que algum volume consumido ao longo dos dias não é faturado pelo simples fato de não ser registrada pelo hidrômetro toda água que por ele passa. (NIELSEN, 2003)

## **3.6. Erros admissíveis.**

Nos hidrômetros são necessários ajustes que os façam trabalhar em condições de precisão o mais próximo possível da realidade. Existem normas técnicas determinando os níveis de precisão mínima para o bom desempenho dos micromedidores de água. Os micromedidores taquimétricos devem ser construídos e regulados para registros de volumes com erros permitidos de  $\pm 2\%$  na faixa superior de medição (vazões de transição, nominais e médias) e de  $\pm 5\%$  na faixa inferior de medição (vazões mínimas). A Portaria 246 do Inmetro estabelece que os micromedidores em uso estejam dentro dos parâmetros de erros em  $\pm 5\%$  nas vazões transição e nominal e  $\pm 10\%$  para as vazões mínimas mostrados na **Figura 11**.



**FIGURA 11:** Gráfico dos campos de medição dos hidrômetros

**Fonte:** Manual para leituristas - Copasa 2005.

### **3.7. Determinação da curva de erros dos micromedidores**

Segundo Coelho (2009), a determinação da curva de erros consiste em comparar as indicações da medida com as leituras dos micromedidores, sendo os erros relativos calculados pela Equação (1).

$$E = \frac{(L_f - L_i) - V_e \times 100}{V_e}$$

(1)

Na qual:

E = erro relativo (%);

L<sub>f</sub> = Leitura final do hidrômetro (L/h);

L<sub>i</sub> = Leitura inicial do hidrômetro (L/h);

L<sub>f</sub> - L<sub>i</sub> = Volume registrado no hidrômetro (L ou m<sup>3</sup>);

V<sub>e</sub> = Volume recebido na medida padrão (L ou m<sup>3</sup>).

### **3.8. Bancadas de Determinação de Erros de indicação em Micromedidores.**

Segundo Senra(2009), as bancadas de ensaio em hidrômetros são instalações construídas e equipadas de modo a se obterem as condições propostas em cada tipo de ensaio do medidor. São classificadas como: volumétricas, gravimétricas, semi-automáticas e automáticas com sensor óptico. As bancadas volumétricas possuem como padrões de referência, tanques calibrados e rotômetros para regulagem. As gravimétricas utilizam balanças conjugados com tanques nos quais a água é pesada e através da massa específica ( $\text{kg/m}^3$ ) determina-se o volume. As bancadas automáticas utilizam contagem de pulsos gerados por giros de um dispositivo vinculado com o número de voltas da turbina do medidor. Estes pulsos são convertidos em volume e comparados com um medidor padrão. A diferença entre o volume indicado pelo padrão e o volume do medidor analisado dá o erro de indicação. As semi-automáticas não possuem o dispositivo de pulso e o volume totalizado pelo medidor analisado se dá pela diferença de leitura no mostrador, leitura inicial e final.

### **3.9. Qualidade da água distribuída**

Segundo Von Sperling(1995), a dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água, principalmente de cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), e em menor monta alumínio ( $\text{Al}^{+3}$ ), ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ), manganês ( $\text{Mn}^{+2}$ ) e estrôncio ( $\text{Sr}^{+3}$ ). A dureza pode ser classificada como dureza carbonato ou dureza não carbonato, dependendo do ânion com o qual está associada. A primeira é sensível ao calor, precipitando o carbonato ao aumento significativo de temperatura – usual de ocorrer quando a água atravessa, por exemplo, a resistência dos chuveiros domiciliares – e por esta razão recebe a denominação de dureza não-permanente. A dureza carbonato corresponde à alcalinidade, estando, portanto em condições de indicar a capacidade de tamponamento da água natural.

A dureza é expressa em mg/L de equivalente em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e, ainda que com alguma imprecisão devido à perceptibilidade variável da população abastecida, em função deste parâmetro a água pode ser classificada em:

- mole/ou branda: < 50 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ;
- dureza moderada: entre 50 e 150 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ;
- dura: entre 150 e 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ;

- muito dura: > 300 mg/L de  $\text{CaCO}_3$  .

A dureza total é a concentração total de íons de metais divalentes (fundamentalmente  $\text{Ca}^{++}$  e  $\text{Mg}^{++}$ ), expressos em mg/L de equivalentes de  $\text{CaCO}_3$ . A dureza é devida principalmente aos sais de cálcio e magnésio em uma água, sob a forma de bicarbonatos, sulfatos, cloretos e nitratos.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Plano de amostragem dos micromedidores**

A amostragem foi realizada na cidade de Montes Claros - Minas Gerais, localidade que possui aproximadamente 94 mil ligações hidrometradas. Os micromedidores amostrados pertencem à Copasa e foram substituídos com o objetivo da melhoria da micromedição.

Primeiramente realizou-se uma amostragem de 20 micromedidores com idades de instalação variando de um a cinco anos. Posteriormente, o critério por idade foi descartado, tendo em vista que alguns micromedidores com cinco anos de uso e com baixo volume totalizado apresentaram conformidade com os padrões e, no ensaio visual, não apresentaram incrustações nas partes internas. Os resultados destes foram aproveitados para análise do estudo, relacionando os volumes totalizados com os erros de indicação.

Num segundo momento foram retirados 25 micromedidores, de dois fabricantes distintos, com volumes totalizados de aproximadamente 200m<sup>3</sup>, 400m<sup>3</sup>, 600m<sup>3</sup>, 800m<sup>3</sup> e acima de 1.000m<sup>3</sup>. O número de micromedidores amostrado entre os fabricantes foi decorrência da proporção no total do parque desta cidade.

As amostras foram submetidas ao ensaio de determinação de erros de indicação através de bancada gravimétrica no laboratório da Copasa. Posteriormente, estes micromedidores foram desmontados e as turbinas retiradas de sua estrutura interna, mecanismo que move e transmite o volume de água totalizado à relojoaria do medidor.

### **4.2. Determinação da curva de erros dos micromedidores**

A determinação da curva de erros dos micromedidores foi realizada através do ensaio em bancada gravimétrica mostrada na Figura 12, onde se instalaram por batelada 25 micromedidores. A bancada possui uma balança, que numa relação entre massa e a densidade da água, define-se o volume de água que atravessa nos hidrômetros ensaiados. Considerou-se neste ensaio, a incerteza da medição proveniente da operação, da variação da temperatura, da constante de conversão entre a massa e o volume. A incerteza é composta pelas diferenças entre os padrões de calibração dos instrumentos e os instrumentos que compõem o equipamento de verificação dos medidores.



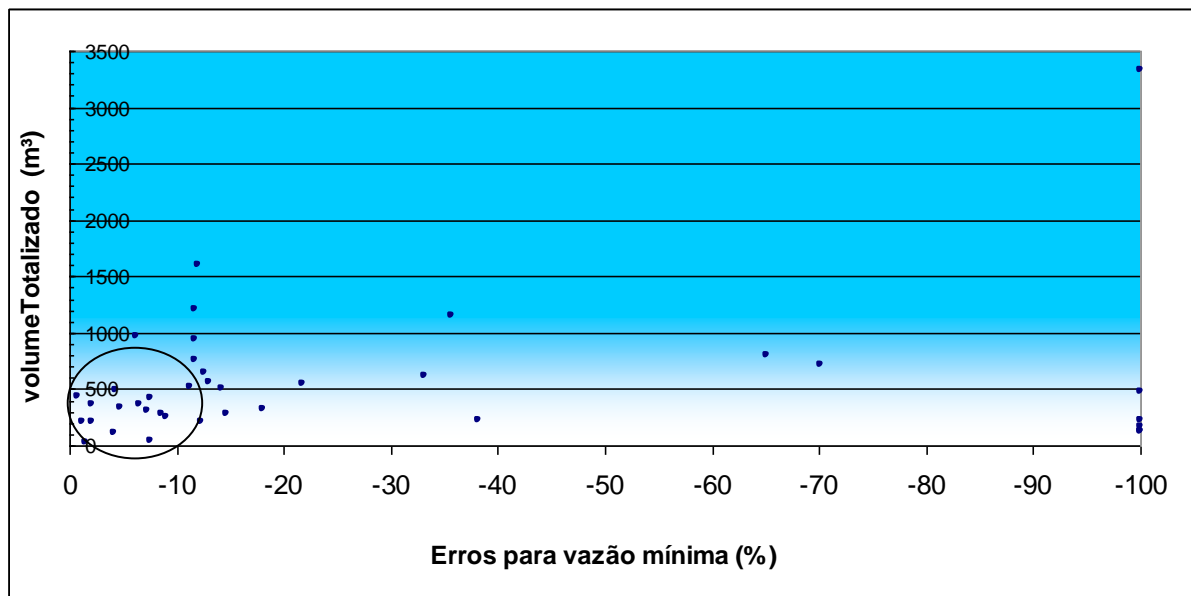
**Figura 12:** Bancada de ensaios de determinação de erros

### ***4.3. Determinação das massas das turbinas***

A determinação das massas das turbinas se deu através da medição em balança analítica calibrada. Pesaram-se a turbina nova e a turbina da amostra, observando a relação entre turbinas de mesma marca e modelo. A balança utilizada foi a da marca Shimadzu AUX 220, com resolução de 10 mg a 220g com verificação inicial Inmetro de N.º 2.151.589-0.

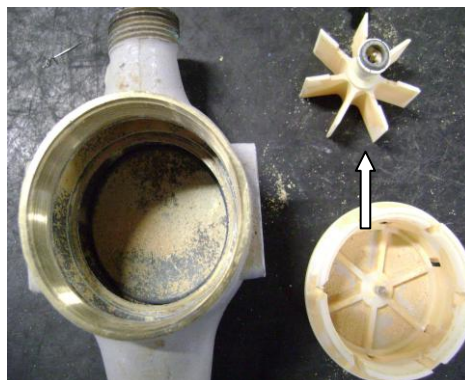
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A despeito do tamanho da amostra, a Figura 13 apresenta o aumento da submedição com o volume totalizado pelo aparelho. Vale ressaltar que para volumes acima de 450m<sup>3</sup> aproximadamente, tais erros superam o máximo admissível estabelecido pela norma para vazões mínimas ( $\pm 10\%$ ).



**Figura 13:** Erros apresentados em decorrência do volume totalizado

Percebeu-se também que os micromedidores de marca A apresentaram um aumento médio de 11,30% de peso das turbinas, devido às incrustações provenientes do calcário presente na água, conforme a Figura 14.



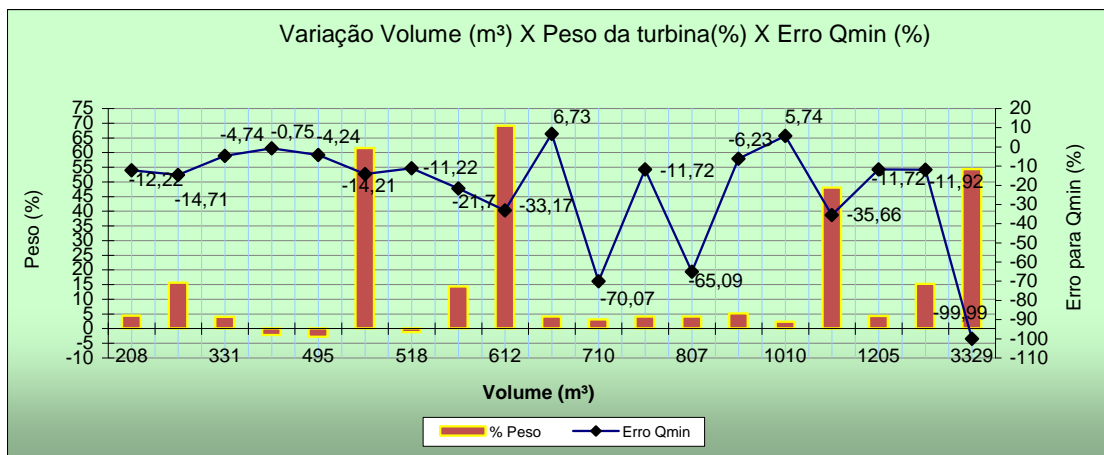
**FIGURA 14:** Turbina com incrustação.

Já nos micromedidores da marca B, houve diminuição dos pesos e da área das turbinas neles instalados. Apesar da diminuição do peso das turbinas, aparentemente há incrustações de material com características calcárias agregados em suas paredes. Nota-se visualmente o desgaste do material, conforme mostrado na Figura 15, o que leva à suposição de que isso seja fator causador da submedição pela desestruturação do projeto original do medidor.



**FIGURA 15:** Turbinas da marca B, detalhe apresenta o desgaste da peça.

Verificou-se oscilação dos valores da relação entre os pesos das turbinas, erros de indicação e volumes totalizados da amostra, não apresentando uma relação diretamente proporcional. Conforme mostrado na Figura 16, outros fatores colaboram para variações, tais como: pressão da rede, perda de carga, temperatura ambiente, variação da qualidade de água, desgaste mecânico e/outras, que deverão ser estudados posteriormente.



**Figura16:** Erros de medição da vazão mínima em função do volume totalizado e variação do peso das turbinas da amostra.

Estudos realizados pela Copasa revelam que o perfil de consumo de seus clientes é caracterizado na utilização em maior parte do tempo, nas vazões mínimas, 15 L/h para hidrômetros de capacidade 750L/h. Supondo que na localidade de Montes Claros, conforme

mencionado com aproximadamente 94 mil hidrômetros, todos clientes num determinado momento, no tempo de 1h, utilizarem a vazão mínima de 15L/h e, considerando que os erros apresentados neste estudo atingiram -20% em média, a empresa estaria deixando de totalizar o volume da ordem de 283m<sup>3</sup>, ou 3L/h por cliente.

Para valores financeiros e de acordo com o valor cobrado pelo m<sup>3</sup> de água e esgoto na quantia de R\$4,11 para a localidade analisada, totaliza-se a perda em valores, a quantia de R\$1.163,13 (Um mil, cento e sessenta e três Reais e onze centavos) somente para o período proposto de 1h. Expandindo e considerando que esta vazão mínima seja utilizada somente durante o período de 10h por dia, calcula-se mensalmente o valor aproximado 349 mil Reais não contabilizados pela empresa. Este valor contempla a compra de 8.723 micromedidores, considerando o custo deste, o valor de R\$40,00 (quarenta Reais) a unidade incluindo instalação. Justifica a substituição de todo o parque de hidrômetros anualmente, o investimento em medidores que não sofrem interferências pela qualidade da água e ou investimentos nos sistemas de tratamento de água para redução da dureza, com o objetivo de reduzir o percentual de perda aparente de água.

## 6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados dos ensaios experimentais pode-se concluir:

- A dureza da água distribuída interfere na acurácia dos micromedidores.
- O estudo demonstrou que há incrustações calcárias nas turbinas dos micromedidores da marca A. Os micromedidores da marca B apresentaram diminuição dos pesos nas turbinas, assim como a deformação e desgastes das paletas. Para tais situações não há uma relação de proporcionalidade entre os erros de indicação, volume totalizado e variação de peso das turbinas dos aparelhos.
- A média dos erros de medição apresentados concentra-se na faixa dos 20% negativos.
- Os efeitos do aumento dos erros de submedição para vazão mínima confirmaram-se para aproximadamente 58% dos hidrômetros ensaiados e destes, 69% apresentam volumes totalizados acima dos 450m<sup>3</sup>. Medidores aprovados (42%) dentro dos parâmetros da Portaria, 84% estão com volumes medidos abaixo dos 450m<sup>3</sup> totalizados.

O volume totalizado no medidor mostrou-se fator mais relevante como critério na verificação periódica do que a idade do equipamento, conforme determinado pela Portaria 246 do Inmetro. Desta forma, recomenda-se que além da magnitude da dureza da água distribuída, o volume totalizado deve orientar a periódica substituição dos medidores pelos prestadores de serviços de abastecimento de água do País.

Valores perdidos com a submedição justificam investimentos no sistema de distribuição, ou seja, substituição periódica do parque de micromedidores e melhorias nos processos de tratamento de água, visando redução da dureza.

## 7. REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Saúde. *Resumo Executivo do Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco*. Belo Horizonte: ANA, 2002, 29 p.
- COELHO, Adalberto Cavalcanti. *Medición de Agua: Política y Prática*. Recife: COMUNIGRAF, 1997.
- COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais. *Manual para Leituristas*. 1 ed. Belo Horizonte: COPASA, 2005, 53 p.
- COPASA. Home-page da COPASA. Disponível em: [www.copasa.com.br](http://www.copasa.com.br). Acessado em 10 de agosto de 2008.
- COPASA. Home-page da COPASA. Disponível em: [www.copasa.com.br](http://www.copasa.com.br). Acessado em 23 de setembro de 2010.
- NIELSEN, J. M.; TREVISAN, J.; BONATO, A.; SACHET, M. A. C. *Medição de água – Estratégias e Experimentações*. Curitiba: Sanepar, 2003.
- PEREIRA, L. G.; Ilha, M.S. *Avaliação da Submedição de água em edificações Residenciais de Interesse Social Localizadas em Campinas*. Florianópolis: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006.
- Portaria INMETRO N° 246 de 17 de/outubro de 2000.
- RECH, Antônio Linus. *Água, Micromedição e Perdas*. Porto Alegre: DMAE, 1992.
- VON SPERLING, Marcos. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. - Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005, 3ª edição.

