

26º. Encontro Técnico AESABESP

AVALIAÇÃO TÉCNICA DE GEOFONES ELETRÔNICOS ATRAVÉS DE ANÁLISE DE SINAIS GRAVADOS

Allan Saddi Arnesen⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Engenheiro da Superintendência de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Cícero Mirabo Rocha

Engenheiro Civil pela FEI - Faculdade de Engenharia Industrial, pós-graduado em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Examinador certificado nível 3 no Processo de Certificação de profissionais de detecção de vazamentos não-visíveis em redes enterradas sob pressão pela Abendi – Associação Brasileira de Ensaio Não-Destrutivos e Inspeção. Engenheiro da Superintendência de Planejamento e Desenvolvimento da Metropolitana da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Marcelo Kenji Miki

Engenheiro Civil e Mestre pela Universidade de São Paulo. Gerente do Departamento de Execução de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Costa Carvalho, 300, Prédio da Prefeitura – piso superior – Pinheiros – São Paulo – SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-9541 - Fax: +55 (11) 3388-8695 - e-mail: aarnesen@sabesp.com.br.

RESUMO

O Geofone eletrônico é um dos principais dispositivos utilizados no serviço de pesquisa de vazamentos em sistemas de abastecimento de água. Os profissionais que exercem a atividade de pesquisa de vazamentos são treinados e passam por processo de certificação para obter níveis de qualificação de execução do serviço. Embora as empresas de saneamento exijam equipes de pesquisa formadas por profissionais com diferentes níveis de qualificação, as especificações técnicas dos equipamentos não exigem características técnicas acústicas dos sensores do tipo geofone (como sensibilidade em determinadas bandas de frequência e amplificação do sinal). Entendendo que a assertividade da identificação de vazamentos está relacionada às características técnicas acústicas dos geofones, o presente trabalho procurou investigar algumas delas, bem como avaliar sinais gravados de diferentes marcas com objetivo de subsidiar o processo de especificação deste tipo de equipamento.

PALAVRAS-CHAVE: controle de perdas, detecção de vazamentos, geofone eletrônico.

INTRODUÇÃO

Os sons de vazamentos são compostos por sons de vibração do tubo, da fricção de água com a parede do tubo, do impacto da água no solo e da circulação da água com as partículas do solo. Embora na prática existam diferentes condições que influenciam no som dos vazamentos (como tipo de pavimento, de solo, pressão e vazão da água), os sons de vazamentos possuem características acústicas comuns que podem auxiliar profissionais capacitados a identificar a ocorrência e determinar a localização de vazamentos.

Dentre os procedimentos estabelecidos em uma atividade de pesquisa, os equipamentos baseados na acústica dos sons de vazamentos, como a haste de escuta e o geofone, são fundamentais para a sua detecção. Enquanto a haste de escuta é utilizada para levantamento de locais suspeitos de vazamentos, o geofone tem a função de auxiliar o técnico a identificar o ponto do vazamento, o qual será aberto para reparo. A Norma técnica da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 15183:2010 – “Ensaio Não Destrutivo – Estanqueidade para saneamento básico – Procedimento para tubulações pressurizadas” estabelece requisitos mínimos para execução das pesquisas de vazamentos de água (ABNT, 2010).

O processo de qualificação de profissionais de pesquisa de vazamentos é realizado pela Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivo e Inspeção (ABENDI), sendo que existem três níveis de qualificação para realização de “Detecção de vazamento em tubulação enterrada”: N1, N2 e N3 (ABENDI, 2013). Dentre os requisitos para qualificação dos profissionais N1 e N2, que exercem as atividades de pesquisa em campo, está a comprovação de Acuidade Auditiva, por meio de atestado médico com audiometria comprovando que o profissional possui limiares auditivos menores ou iguais a 30 dB nas frequências de 500 Hz a 3000 Hz.

As empresas de saneamento contratantes de empresas terceirizadas de detecção de vazamentos exigem que o serviço seja elaborado por equipes contendo profissionais com diferentes níveis de qualificação. Entretanto, embora exista este processo rigoroso de qualificação e formação de equipes aptas a realizar o serviço de pesquisa de vazamentos, pouco é exigido quanto às especificações técnicas dos equipamentos acústicos a serem utilizados.

Características como a sensibilidade em determinadas bandas de frequência e amplificação dos geofones, por exemplo, são fundamentais para garantir que o técnico identifique a ocorrência e a aponte a localização correta do vazamento. A assertividade na detecção de vazamentos está diretamente relacionada à qualidade dos equipamentos utilizados no serviço.

Neste contexto, este trabalho se propôs a investigar algumas características acústicas dos geofones e dos sons de vazamentos gravados utilizando sensores de diferentes marcas, no intuito de mensurar as diferenças entre os equipamentos.

OBJETIVO

Avaliar as características técnicas acústicas dos geofones por meio da análise dos sinais gravados de diferentes marcas de geofones eletrônicos de um campo de teste de vazamentos de forma a subsidiar a melhoria na especificação técnica deste tipo de equipamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

O som é uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo ao longo do tempo e o período (T) é o intervalo de tempo decorrido para que um ciclo se complete na curva de variação de pressão com o tempo. A variação da pressão ambiente é chamada de pressão sonora, ou pressão acústica. Em acústica, usualmente trabalha-se com o inverso do período, ou seja, a frequência (BISTAFA, 2011), expressa em Hertz (Hz).

Um tom puro possui apenas um período e, conseqüentemente, uma frequência. Contudo, a maioria dos sons, incluindo os sons de vazamentos, é uma combinação de tons puros, sendo que as frequências neste caso são obtidas através de uma operação matemática chamada de Transformada direta de Fourier. Ao aplicar esta Transformada obtém-se um gráfico de pressão sonora (eixo Y), em função da frequência (em Hz – eixo X).

Este gráfico é chamado de espectro sonoro, e uma de suas características é a largura das bandas (ou faixas) de frequência (BISTAFA, 2011). A variável do eixo Y, pressão sonora, é uma grandeza física correlacionada à

sensação de intensidade do som e pode ser representada em escala logarítmica em decibéis (ou dB), como nível de pressão sonora (BISTAFA, 2011).

Os geofones utilizados para detecção de vazamentos não visíveis de água são geralmente sensores do tipo piezoelétrico. Um sensor piezoelétrico produz um sinal elétrico de saída quando excitado mecanicamente, sendo que, no caso dos geofones, a pressão transmitida pelos sons na superfície em que o sensor converte-se em energia elétrica (COB873, 2013). Antigamente eram utilizados materiais como quartzo, turmalina e sais de Rochelle na produção de sensores piezoelétricos, mas desde a década de 1940 os materiais cerâmicos têm predominado.

Os vazamentos produzem ruídos numa faixa de frequência que varia de 100 Hz a 8.000 Hz, mas geralmente são as menores frequências (em geral abaixo de 1.000 Hz) que são propagadas à superfície enquanto que as maiores frequências são absorvidas pelo solo. Por este motivo, os geofones eletrônicos são geralmente desenvolvidos para operar em frequências de 0 a 1.200 Hz, reconhecendo que os principais picos de frequência dos vazamentos ocorrem na faixa de 300 a 700 Hz.

Uma característica de dispositivos eletrônicos, como geofones e receptores eletrônicos, é a sensibilidade. Esta grandeza é normalmente definida como o sinal mínimo de entrada necessário para produzir um sinal específico de saída que contenha uma específica relação sinal/ruído em uma determinada banda de frequência (em Hz). A sensibilidade de geofones pode ser expressa em termos de pressão, como V/ μ Pa (onde V=Voltz e Pa=Pascal), ou aceleração da gravidade, como V/g (onde g é a aceleração da gravidade) (JUAREZ, 2003).

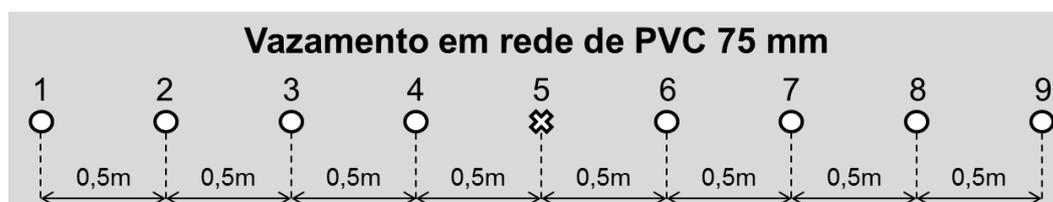
Neste trabalho foram gravados os sons de um mesmo vazamento por geofones de diferentes marcas, a fim de comparar os espectros sonoros gerados por meio de atributos como bandas de frequência em que ocorrem picos de pressão sonora.

Foram utilizados seis geofones de marcas diferentes, sendo aqui denominados de A, B, C, D, E e F. As características acústicas disponíveis nos manuais e especificações dos geofones estão apresentadas na Tabela 1. As gravações foram realizadas sem a ativação de filtros dos equipamentos.

| Marca do geofone | Faixa de operação | Sensibilidade | Amplificação |
|------------------|-------------------|------------------|--------------|
| A | 100 a 1.200 Hz | 0,7 V/g a 400 Hz | 59 dB |
| B | 30 a 3.000 Hz | - | 75 dB |
| C | 30 a 3.000 Hz | - | 75 dB |
| D | 0 a 4.000 Hz | 0,8 V/g a 400 Hz | 120 dB |
| E | 0 a 4.000 Hz | 0,8 V/g a 400 Hz | 120 dB |
| F | 30 a 3.000 Hz | - | 65 dB |

Tabela 1. Características dos geofones utilizados no trabalho.

A gravação dos sons captados pelos geofones foi realizada sobre um vazamento simulado em rede de PVC (diâmetro de 75 mm) no Centro de Exames de Qualificação (CEQ) na Sabesp de São Paulo-SP. Além do ponto exatamente acima do local do vazamento, foram gravados sons na superfície de asfalto de pontos 4 para cada lado da rede, espaçados em 0,5m, conforme apresenta a Figura 1.



Legenda:

○ Pontos de gravação de som

⊗ Ponto de gravação de som localizado sobre o vazamento

Figura 1. Esquema da gravação de sons de vazamento simulado em uma rede de PVC de 75 mm.

É importante destacar que próximo ao ponto 1 há uma entrada de água recirculada na rede de PVC do CEQ e, portanto, este ponto pode apresentar ruído gerado pela bomba. Este aspecto foi proposital para verificar a influência do ruído da bomba sobre a capacidade de identificar o vazamento com os geofones.

A gravação foi realizada captando os áudios que são transmitidos ao técnico pelo fone de ouvido, através da utilização de um dispositivo eletrônico chamado iRig e uma aplicativo instalado em smartphone denominado AmpliTube. A Figura 2 apresenta o esquema adotado para gravação dos sons com os geofones.

A interface IRig/Amplitude possibilita a gravação do áudio que originalmente iria ao fone de ouvido através de uma derivação. Cada gravação teve uma duração mínima de 15 segundos.

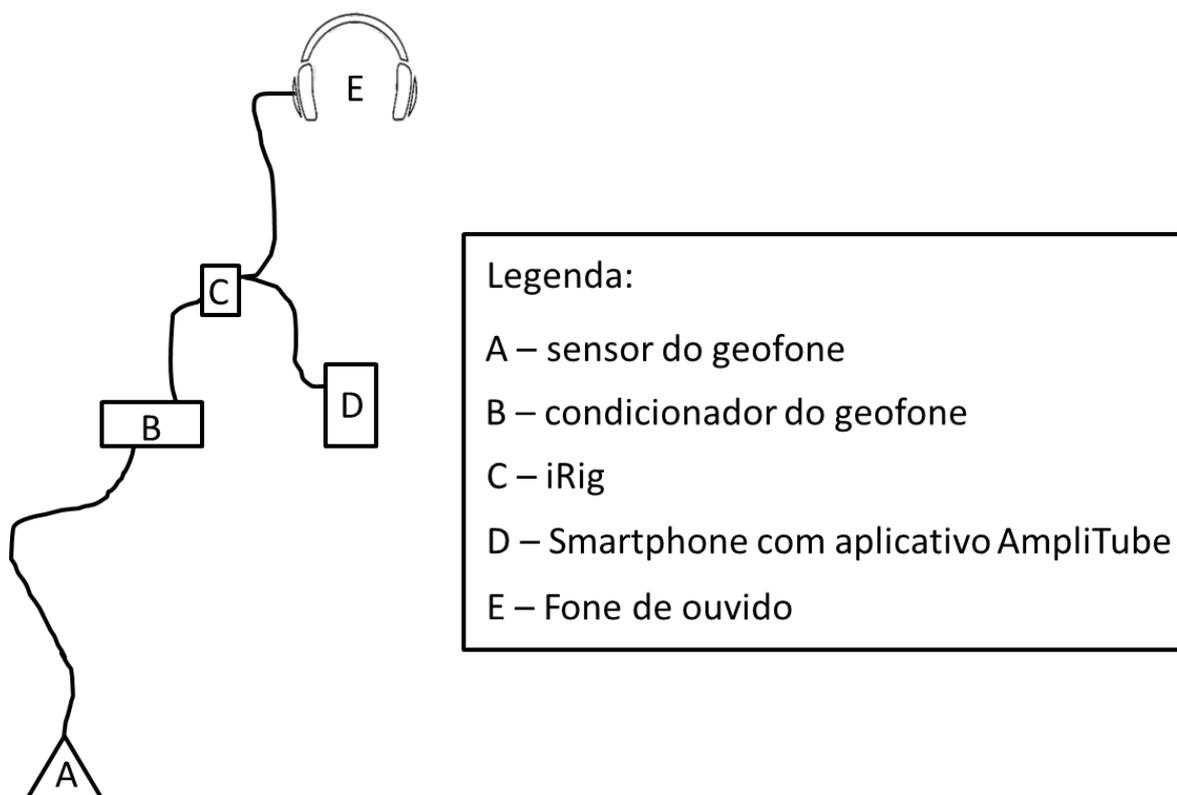


Figura 2. Esquema utilizado para gravação dos sons de vazamento por diferentes geofones.

Os arquivos de áudio dos sons foram passados ao computador no formato .wav e analisados utilizando o software Audacity, que é um programa livre e de código aberto para gravar, editar e realizar análises básicas de arquivos de áudio.

Os sons gravados pelos geofones foram analisados pelos seus respectivos espectros sonoros (curvas de nível de pressão sonora X frequência), sendo que o parâmetro analisado foi a frequência de pico (ou seja, frequência em que ocorre o maior valor de nível de pressão sonora). O valor absoluto do nível de pressão sonora não foi considerado para comparação entre os geofones, pois este parâmetro pode estar relacionado a amplificações que ocorrem não apenas no sensor, mas também no condicionador (hardware) dos geofones.

Os espectros sonoros foram gerados com um tamanho de amostra de 190 (ou seja, 190 valores de frequência diferentes na faixa de 0 a 2.000 Hz), função Hanning janela e eixo de frequência linear. Os dados foram exportados no formato texto (.txt) e foram plotados utilizando o software Excel. A análise dos espectros se limitou à faixa de 0 a 1.200 Hz, pois esta é a faixa de intersecção dos geofones (ver Tabela 1).

Como o principal pico de pressão sonora ocorre na faixa de frequência de 400 a 600 Hz, foram calculadas as médias de pressão sonora nesta faixa para os 9 pontos do caminhamento (Figura 1) de todos os geofones

analisados. Este aspecto também é importante para identificar se sobre o ponto do vazamento ocorrem os maiores valores de pressão sonora na faixa espectral de interesse.

RESULTADOS

A gravação dos sons de vazamentos utilizando geofones de diferentes marcas demonstrou a grande diferença que ocorre entre os equipamentos. A Figura 3 apresenta os espectros dos sons gravados sobre o mesmo vazamento e a Tabela 2 apresenta os valores das frequências de pico dos geofones analisados.

| Geofone | Pressão sonora (dB) máxima no ponto sobre o vazamento (5) | Frequência de pico (Hz) no ponto sobre o vazamento (5) |
|---------|---|--|
| A | -55,4 | 463,0 |
| B | -25,2 | 172,3 |
| C | -39,3 | 516,8 |
| D | -11,5 | 473,7 |
| E | -2,7 | 506,0 |
| F | -48,0 | 581,4 |

Tabela 2. Frequência de pico dos sons gravados por diferentes geofone sobre o mesmo vazamento.

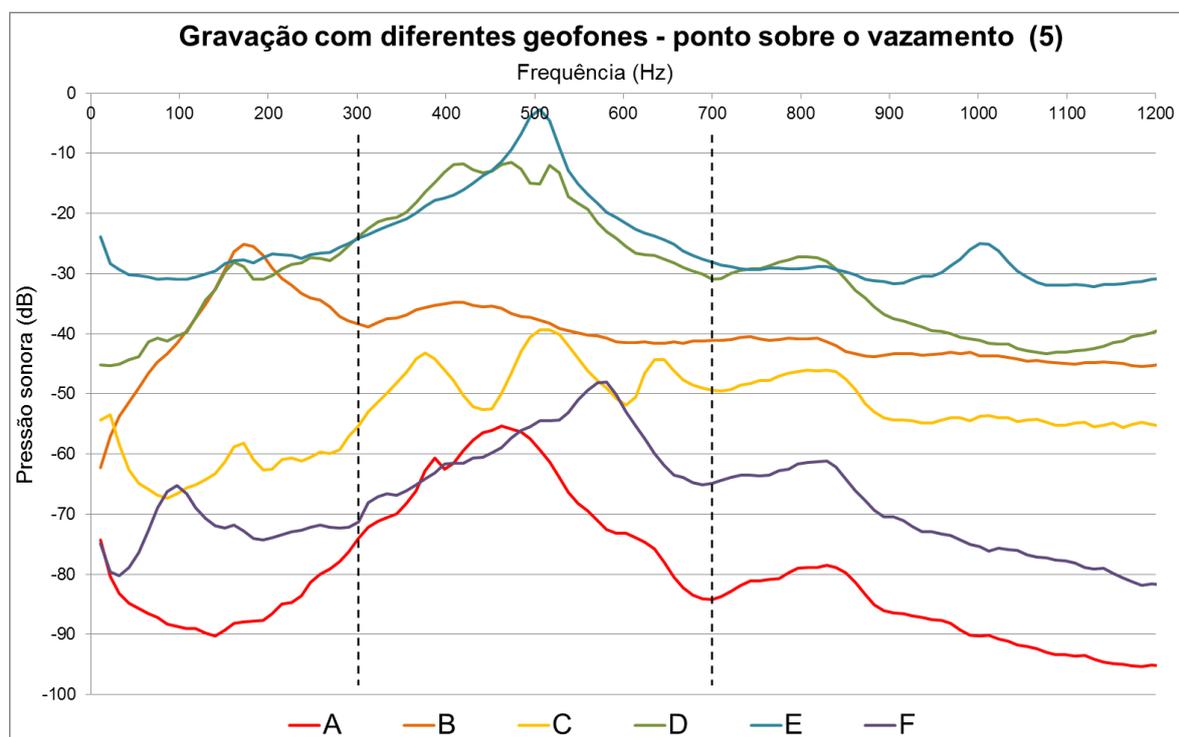


Figura 3. Espectros sonoros dos sons gravados sobre o mesmo vazamento (ponto 5 – ver Figura 1) por 6 diferentes geofones (A a F).

Com exceção do geofone B, todos os equipamentos apresentaram frequência de pico localizada entre 400 e 600 Hz. O geofone B foi muito influenciado pelo som produzido pela bomba (localizada próxima ao ponto 1, a aproximadamente 2 metros de distância).

Observou-se também grande diferença da forma dos gráficos, sendo que em alguns geofones o pico de frequência foi mais estreito (como no caso do geofone E) e em outros foi mais largo (faixa mais ampla de frequências).

Um som com banda mais estreita de frequência tende a facilitar a identificação do vazamento, pois reproduz ao operador o som característico de vazamento. No entanto, as ocorrências de picos em frequências fora desta faixa característica podem dificultar a detecção do vazamento. Isto pode ser verificado, por exemplo, nos espectros dos geofones B (pico de frequência em 172 Hz) e E (em que ocorre um pico de frequência em torno de 1000 Hz). Por isso geofones que apresentam as funções filtro, que minimizem o som fora da faixa de frequência de interesse, facilitam a detecção dos vazamentos.

Também foram analisados os espectros sonoros dos geofones sobre o ponto 1, o qual está próximo à bomba de entrada de água na rede de PVC (Figura 4). Os espectros deste ponto apresentam, em relação ao ponto 5, valores mais altos de pressão sonora na faixa de 100 a 300 Hz.

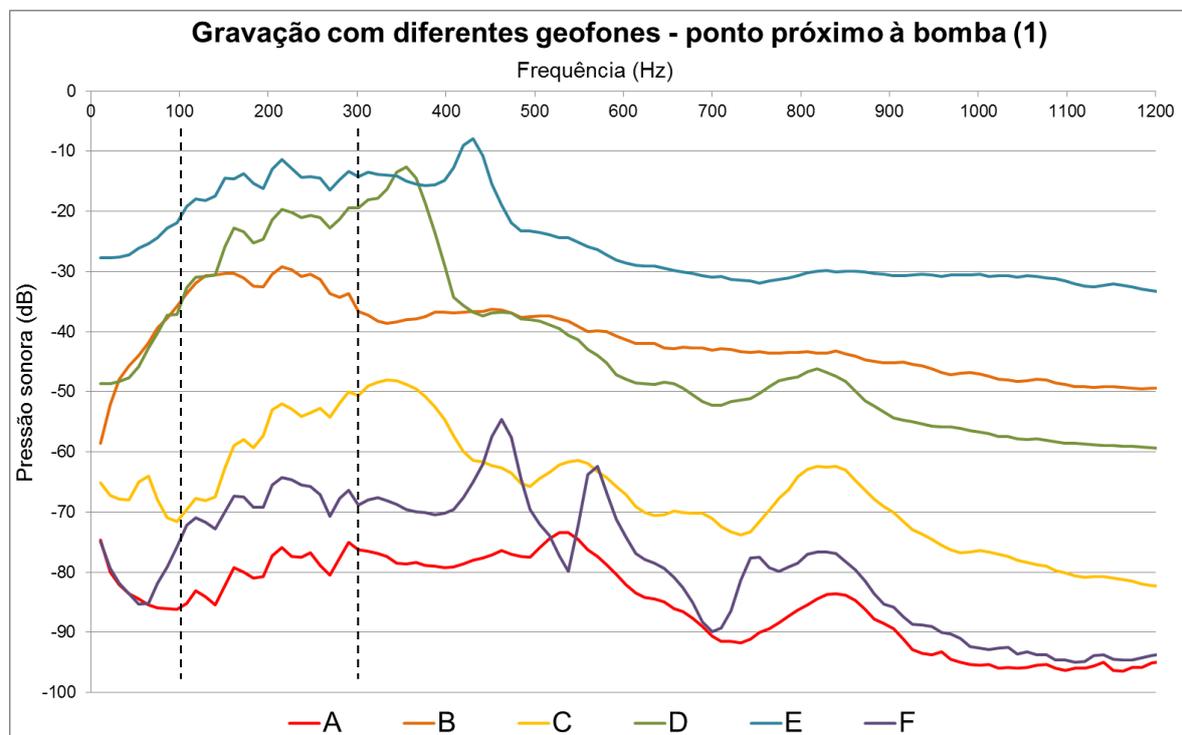


Figura 4. Espectros sonoros dos sons gravados sobre o mesmo ponto próximo à bomba (ponto 1 – ver Figura 1) por 6 diferentes geofones (A a F).

Contudo, mesmo em ponto próximo à bomba, alguns geofones apresentaram valores máximos de pressão sonora na faixa de 400 a 600 Hz, como foi o caso dos geofones A, E e F. Isto é favorável porque indica que os equipamentos tem maior sensibilidade na banda de interesse para detecção de vazamentos.

Outro aspecto analisado foi a variação dos valores médios de pressão sonora na faixa de 400 a 600 Hz (banda típica de sons de vazamento) ao longo do caminhamento realizado sobre a rede (Figura 5). Conforme se pode observar, apenas o geofone B não apresentou valor máximo no ponto 5 (sobre o vazamento), mas sim no ponto 6, o que tende a dificultar a detecção do local exato do vazamento pelo técnico de pesquisa.

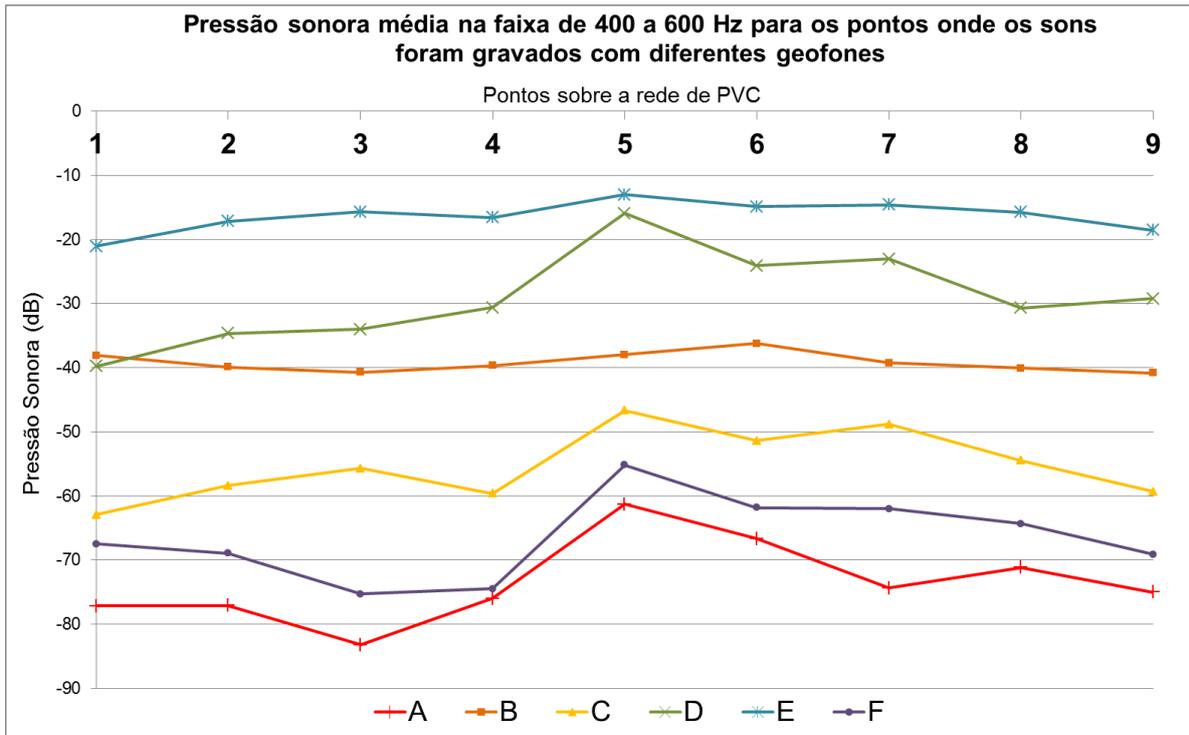


Figura 5. Gráfico de pressão sonora média na faixa de 400 a 600 Hz ao longo dos pontos do caminhamento realizado sobre a rede com vazamento simulado do CEQ. Nos pontos de 1 a 9 (espaçados 0,5 metro entre si) foram gravados os sons com 6 geofones diferentes (A a F).

Outro aspecto que pode ser observado é que para o geofone E, ocorreu pouca diferença entre a pressão sonora média na banda de interesse (400 a 600 Hz) do ponto 5 em relação aos adjacentes (4 e 6). Isto também tende a dificultar o técnico de identificar o ponto exato do vazamento.

CONCLUSÃO

Este trabalho destaca a importância da qualidade acústica dos equipamentos geofones utilizados nos serviços de pesquisa de vazamentos. Embora as empresas de saneamento tenham requisitos de qualificação de mão-de-obra para realização da pesquisa, a adoção de equipamentos desqualificados pode comprometer a eficácia na detecção de vazamentos não visíveis. Além disso, como estes equipamentos sofrem avarias no manuseio falta uma avaliação periódica dos geofones para verificar se eles mantêm suas características acústicas (como sensibilidade e amplificação).

Os resultados deste trabalho demonstraram de forma quantitativa que há grande discrepância entre os sons de um mesmo vazamento gravado com diferentes geofones. Enquanto alguns geofones apresentaram picos de frequência na faixa de 300 a 700 Hz (faixa principal de ocorrência dos sons de vazamentos de água), outro apresentou frequência de pico com valor muito diferente. A qualidade do sensor piezoelétrico para detectar sons na faixa espectral de maior interesse pode ser quantificada pela sensibilidade do geofone, mas esta característica acústica não é quantificada por todos os fornecedores. Entende-se que esta é uma característica importante que quantifica a sensibilidade dos sensores na faixa espectral de maior interesse para a detecção de vazamentos.

O resultado da sensibilidade dos geofones na faixa de interesse pôde ser verificado a análise da variação da pressão sonora na banda de frequência de interesse ao longo do caminhamento sobre a rede com vazamento. Alguns geofones não apresentaram valor máximo de pressão sonora sobre o vazamento, ou apresentaram pequena diferença em relação aos pontos adjacentes, o que dificulta o trabalho dos operadores na definição do ponto de vazamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 15.183 - Ensaios Não Destrutivos – Estanqueidade para saneamento básico – Procedimento para tubulações pressurizadas. 3 ed. 2010.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO – ABENDI. NA-002 – Qualificação e certificação de pessoas em END para o setor de Saneamento Básico. 2 rev. 2013.
3. BISTAFA, S.R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 2ª edição – São Paulo: Blucher, 2011.
4. COB873 – Notas de Aula. Instrumentação e Técnicas de Medidas (ITM). Versão 1. 2013.
5. JUAREZ, M. A. Construction and testing of low-noise hydrophones. Thesis in Naval Postgraduate School, Monterey, California. 2003.