



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**MODELO EXPERIMENTAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE  
VAZAMENTOS A PARTIR DO USO DO GEOFONE**

**MANOEL DE FARIAS SOUZA NETO**

Orientadora: Prof. Dra. Dayse Luna Barbosa  
Coorientador: Eng. Antônio Leomar Ferreira Soares

Campina Grande-PB, dezembro 2019

# **MODELO EXPERIMENTAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS A PARTIR DO USO DO GEOFONE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, para encerramento do componente curricular e conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Dayse Luna Barbosa

Coorientador: Eng. Antônio Leomar Ferreira Soares

Campina Grande, dezembro de 2019

# FOLHA DE APROVAÇÃO

**MANOEL DE FARIAS SOUZA NETO**

## **MODELO EXPERIMENTAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS A PARTIR DO USO DO GEOFONE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para o título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_.

### BANCA EXAMINADORA

\_\_\_\_\_ Nota \_\_\_\_\_

Orientadora – Prof. Dra. Dayse Luna Barbosa  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

\_\_\_\_\_ Nota \_\_\_\_\_

Coorientador – Eng. Antônio Leomar Ferreira Soares  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

\_\_\_\_\_ Nota \_\_\_\_\_

Examinadora interna – Prof. Dra. Patrícia Hermínio Cunha Feitosa  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

\_\_\_\_\_ Nota \_\_\_\_\_

Examinadora externa – Eng. Igor Antônio de Paiva Brandão  
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiro a Deus, por estar sempre presente em minha vida, nos melhores e piores momentos, me abençoando, livrando do mal, e colocando pessoas divinas em meu caminho.

Aos meus pais, Jane Maria e Francisco Neris, devo minha vida, agradeço todos os esforços e dedicação tomados em meu nome, apoiando sempre minhas decisões. Meus irmãos e familiares que estiveram sempre presentes, trazendo alegria e acolhimento. Quem sou não seria nada sem está base.

A minha orientadora, Prof. Dra. Dayse Luna Barbosa, pelas orientações, conselhos dados e pelos conhecimentos transmitidos desde que fui seu aluno. Agradeço toda a confiança em mim depositada.

Ao meu coorientador, Antônio Leomar, mesmo com seu trabalho pode ser paciente e me auxiliou ao longo da pesquisa, serei sempre grato.

Aos amigos (as), Anderson, Camilla, Carlos, Clara, Erick, Everton., Igor, João, Larissa, Marcela, Matheus, Sávio, Tiago, por compartilhar ao longo do curso momentos especiais, criando uma amizade que estará presente e memorizada eternamente em meu coração.

Ao encanador Naldo e os ajudantes Carlos e Matheus por me ajudar na construção do modelo experimental dispendo do seu tempo e esforço para conclusão desde trabalho. E por último, mas com importância enorme á UFCG por disponibilizar toda uma estrutura de qualidade e excelência, para desenvolvimento do aprendizado e das qualidades essenciais para um engenheiro.

*“Há criaturas como a cana: mesmo postas na moenda, esmagadas de todo, reduzidas a bagaço, só sabem dar doçura.”*

*Dom Hélder Câmara*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Unidades de um sistema abastecimento de água. ....	15
<b>Figura 2:</b> Geofone mecânico .....	19
<b>Figura 3:</b> Geofone eletrônico analógico .....	20
<b>Figura 4:</b> Geofone eletrônico digital. ....	20
<b>Figura 5:</b> Utilização do geofone na escuta dos vazamentos de água.....	21
<b>Figura 6:</b> Espectro Sonoro .....	22
<b>Figura 7:</b> Fontes do sinal sonoro de um vazamento .....	22
<b>Figura 8:</b> Geofone Vertical Sísmico. ....	24
<b>Figura 9:</b> Fluxograma das atividades realizadas.....	26
<b>Figura 10:</b> Planta baixa do campus central da UFCG .....	27
<b>Figura 11:</b> Localização do modelo experimental na Universidade .....	28
<b>Figura 12:</b> Visão geral do modelo experimental .....	28
<b>Figura 13:</b> Primeira Ramificação .....	29
<b>Figura 14:</b> Segunda Ramificação.....	30
<b>Figura 15:</b> Terceira Ramificação .....	30
<b>Figura 16:</b> Vazamento na tubulação - Corte.....	31
<b>Figura 17:</b> Vazamento na tubulação - Furo .....	32
<b>Figura 18:</b> Vazamento na tubulação - Rachadura.....	32
<b>Figura 19:</b> Kit Caça Vazamento Yamatec TEC 0506 .....	34
<b>Figura 20:</b> Utilização do geofone à noite .....	34
<b>Figura 21:</b> Gráfico de frequência corte – 0,5 m de profundidade .....	35
<b>Figura 22:</b> Gráfico de frequência corte – 1,0 m de profundidade .....	36
<b>Figura 23:</b> Gráfico de frequência corte – 1,5 m de profundidade .....	36
<b>Figura 24:</b> Frequência x Profundidade .....	37
<b>Figura 25:</b> Gráfico de frequência furo – 1,0 m de profundidade – ramificação 1 .....	37
<b>Figura 26:</b> Gráfico de frequência furo – 1,0 m de profundidade – ramificação 3 .....	38
<b>Figura 27:</b> Gráfico de frequência rachadura – 1,5 m de profundidade.....	39
<b>Figura 28:</b> Gráfico de frequência sem CAP – 1,0 m de profundidade .....	40

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Interferência sonora das variáveis existentes .....	23
<b>Tabela 2:</b> Quantitativo dos materiais .....	29
<b>Tabela 3:</b> Valores de profundidade e frequência dos vazamentos.....	41
<b>Tabela 4:</b> Comparação com a frequência ambiente .....	42

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**ABENDE** – Associação Brasileira de Ensaio não Destrutivos

**FWD** – Falling Weight Deflectometer

**Hz** – Hertz

**IWA** – International Water Association

**kHz** – Quilohertz

**MCDA-C** – Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – Construtivista

**PURA** – Programa de Uso Racional de Água

**PVC** – Policloreto de Vinila

**SAA** – Sistema de abastecimento de água

**SABESP** – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

**SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

**UFMG** – Universidade Federal de Campina Grande

**UNIFEI** – Universidade Federal de Itajubá

**USP** – Universidade de São Paulo



## RESUMO

O índice de perdas de água nos sistemas de abastecimento no Brasil é da ordem de 37% (SNIS, 2017). Este valor representa um desperdício de bilhões de reais por ano. Além do mais, existem constantes aumentos das demandas de água elevadas em função do aumento populacional, fator que ainda é agravado por fenômenos naturais de seca. Diante deste cenário, de necessidade de melhoria na gestão hídrica brasileira e a minimização das perdas, os métodos acústicos de pesquisa e detecção de vazamentos tomam papel central para a busca de controle do presente cenário. A pesquisa foi realizada com finalidade de construir um modelo experimental que auxiliasse na utilização e treinamento do aparelho de detecção acústica, geofone, contribuindo com o entendimento dos parâmetros que envolvem os vazamentos não visíveis. Em vista dos resultados, foi possível observar que o aparelho é eficaz, mas o operador necessita de habilidade auditiva obtida com treinamento. Variáveis como a profundidade se mostraram compreendidas, no entanto, estudos minuciosos envolvendo outros parâmetros são necessários.

**Palavras-chave:** Controle de perdas, Gestão hídrica, Detecção acústica.

## ABSTRACT

The rate of water loss in supply systems in Brazil is around 37% (SNIS, 2017). This amount represents a waste of billions of reais per year. Moreover, there are constant increases in high water demands due to population increase, a factor that is still aggravated by natural drought phenomena. Given this scenario, the need for improvement in Brazilian water management and the minimization of losses, the acoustic research and leak detection methods play a central role in the search for control of the present scenario. The research was carried out with the purpose of constructing an experimental model that would assist in the use and training of the acoustic detection device, geophone, contributing to the understanding of the parameters involving the non visible leaks. In view of the results, it was observed that the device is effective, but the operator needs training skills. Variables such as depth have been understood, however, thorough studies involving other parameters are required.

**Key words:** Loss control, Water management, Acoustic detection.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	14
1.1.1 Objetivo geral.....	14
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA .....	14
2.2 CONTROLE DE PERDAS .....	16
2.3 O GEOFONE.....	18
2.3.1 Geofone Mecânico .....	18
2.3.2 Geofone eletrônico analógico.....	19
2.3.3 Geofone eletrônico digital.....	20
2.4 O PROCEDIMENTO DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS COM GEOFONES.....	21
2.4.1 O sinal Sonoro dos vazamentos .....	22
2.4.2 Variáveis que influenciam no sinal sonoro do vazamento.....	23
2.5 HISTÓRICO E UTILIZAÇÃO DO GEOFONE .....	24
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
3.1 FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES REALIZADAS.....	26
3.2 LOCALIZAÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL .....	27
3.3 CARACTERÍSTICAS DO MODELO EXPERIMENTAL .....	28
3.3.1 Ramificação 1.....	29
3.3.2 Ramificação 2.....	30
3.3.3 Ramificação 3.....	30
3.4 CARACTERÍSTICAS DOS VAZAMENTOS .....	31
3.4.1 Vazamento – Corte.....	31
3.4.2 Vazamento – Furo .....	31

3.4.3 Vazamento – Rachadura.....	32
3.4.4 Vazamento – Sem CAP.....	33
3.5 APARELHO DE MEDIÇÃO UTILIZADO.....	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>34</b>
4.1 RESULTADOS DOS VAZAMENTOS DE CORTES .....	35
4.2 RESULTADOS DOS VAZAMENTOS DE FUROS.....	37
4.3 RESULTADOS DOS VAZAMENTOS DA RACHADURA E SEM CAP .....	38
4.4 RESUMO DOS RESULTADOS.....	41
<b>5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>43</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>44</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>47</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional ocorrido nas últimas décadas exigiu maior quantidade de água para o abastecimento humano, cultivo de alimentos e geração de energia, sendo perceptível um considerável aumento das demandas de água. (COSTA, 2011).

As cidades são vulneráveis à escassez de água devido entre outros fatores, como má gestão, à incompatibilidade espacial existente entre a disposição dos recursos hídricos e a concentração da população em pontos localizados. A gestão dos recursos hídricos de forma eficiente, sustentável e efetiva é um desafio para as cidades. (MENESES, 2011)

Além do desafio da escassez hídrica, um sistema de distribuição de água potável, constituído por tubulações submersas ou não, está sempre vulnerável ao surgimento de perdas em diversos pontos de sua rede. Perdas estas que podem ser originadas em função de ligações clandestinas, má execução, pressões elevadas, vida útil da rede ou do material, carência de manutenção, tal como, em função de vazamentos (BORGES, 2011).

A busca pela minimização das perdas de água contempla quatro componentes principais de gestão: manutenção da infraestrutura, gerenciamento das pressões, contenção eficaz dos vazamentos e reparos ágeis e de qualidade. (ARNESEN *et. al.* 2015).

À medida que a população cresce a demanda de água cresce também e a preocupação a respeito dos vazamentos e dos custos gerados com esse problema, só vem a aumentar a urgência do serviço de detecção de vazamentos. Exposto esse cenário com as recentes crises hídricas que atingiram alguns estados Brasileiros, o assunto das perdas de água e controle dos vazamentos é de grande importância na área da gestão hídrica. (YAMATEC INDÚSTRIA, 2019)

Os vazamentos podem ser categorizados em visíveis, não visíveis e inerentes. Sensatamente os vazamentos visíveis são detectados velozmente e se consertados com agilidade não resultam em perdas demasiadas. Porém, os não visíveis, possuem um intervalo muito maior entre o início das perdas e sua detecção, alguns seguindo indetectados. Para identificação de vazamentos não visíveis que o geofone foi concebido.

O geofone é uma ferramenta classificada como um ensaio não destrutivo, ou seja, ele evita quebras desnecessárias. Essencialmente, ele capta vibrações geradas pelos vazamentos processando suas vibrações em forma de áudios e executa cortes de frequência, o que garante

maior precisão. Com isso o operador do aparelho tem subsídios para localizar exatamente as fugas de água (YAMATEC INDÚSTRIA, 2019).

Neste trabalho será desenvolvido um modelo experimental para identificação de vazamentos com o uso do geofone eletrônico, o modelo físico está localizado na Universidade Federal de Campina Grande – PB, no campus sede.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Construção de um modelo experimental para detecção de vazamentos de água, utilizando o aparelho geofone.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

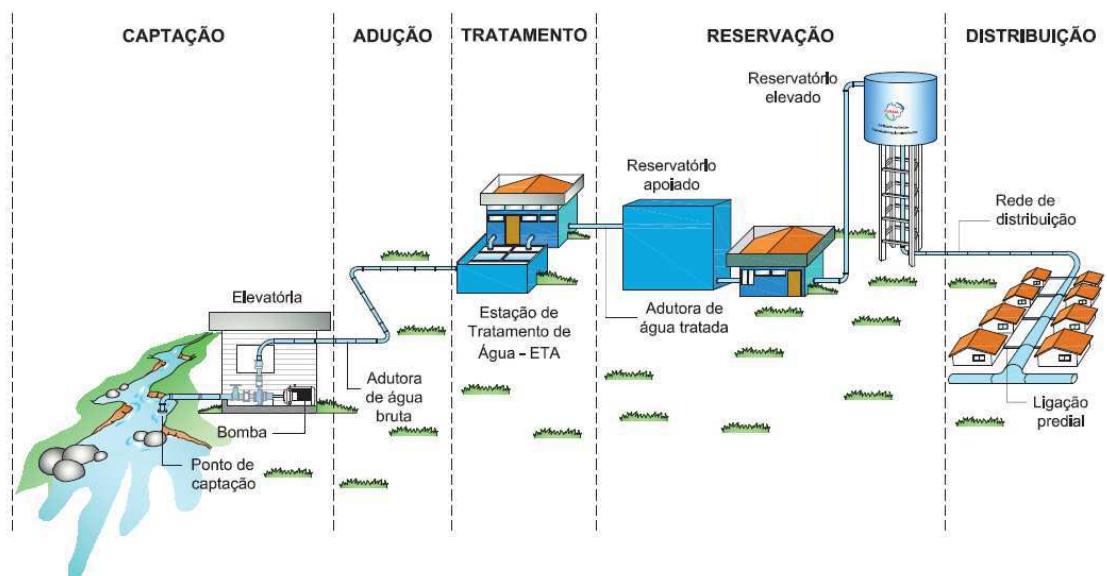
- ✓ Elaborar projeto para construção do modelo;
- ✓ Identificar vazamentos não visíveis;
- ✓ Analisar as variáveis que existem em torno dos vazamentos de água;
- ✓ Mostrar a importância e auxiliar no treinamento para escuta e identificação dos vazamentos;

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

De acordo com Meneses (2011), um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é constituído por captação, adução de água bruta, estação de tratamento, adução de água tratada, estações elevatórias, reservatórios, rede de distribuição e ramais prediais externos. O manancial é um reservatório hídrico natural superficial ou subterrâneo, no qual é obtida a água para o abastecimento. A captação é a união de estruturas encarregadas pela retirada da água do manancial, as adutoras de água bruta recebem esta água e permitem a condução para estações de tratamento, onde é garantido qualidade e potabilidade. As adutoras agora de água tratada encaminham a mesma para reservatórios com a finalidade de subdividir pelas redes de distribuição, como é detalhado pela Figura 1.

**Figura 1:** Unidades de um sistema abastecimento de água.



Fonte: FUNASA, 2015.

O conjunto de todas as partes constituintes do SAA devem ser dimensionadas para permitir o adequado funcionamento das instalações dentro do tempo de projeto definido. Além disso, a operação e manutenção também são processos fundamentais para que os sistemas correspondam ao esperado na prestação dos serviços de água. (MENESES, 2011).

No Brasil, ainda é um procedimento comum entre os gestores investir, prioritariamente, na ampliação da infraestrutura dos sistemas de abastecimento objetivando a universalização do serviço e, em segundo plano, nas atividades de operação e manutenção. Dessa forma, tem-se uma alta cobertura de rede, porém um desempenho ineficiente no que diz respeito à operação e manutenção do sistema, favorecendo os altos índices de perdas.

Uma das maiores adversidades encontradas hoje no âmbito do saneamento é o crescimento populacional, muitos dos sistemas de abastecimento foram introduzidos há muito tempo, apresentando dificuldades no acompanhamento das novas demandas do sistema (FREITAS, 2015)

Segundo Gomes (2009), a gestão da operação dos SAA deve ser prioritária, pois permite melhorias energéticas e hidráulicas, reduz as perdas de água e minimiza os custos energéticos do sistema. Todavia, Tardelli Filho (2016) afirma que operar um SAA é um dos trabalhos mais complexos, sendo necessários cadastros técnicos e comerciais atualizados e confiáveis, além da medição de vazões em pontos estratégicos.

A maior incidência de perdas ocorre nas redes de distribuição, seja por falta de manutenção adequada ou pela proximidade do usuário final, que pode se beneficiar do abastecimento por meios ilícitos – ligações clandestinas (CAVALCANTE; ALMEIDA; MORAIS, 2010). Portanto, a eficiência da operação de um SAA também está diretamente ligada a um bom funcionamento da rede de distribuição.

## 2.2 CONTROLE DE PERDAS

Kusterko *et. al.* (2018) conceituam perdas como a diferença entre o volume de água produzido por aquele micromedidor nos pontos de consumo, que podem ocorrer em qualquer etapa de um SAA, desde a captação até o ponto de consumo.

As perdas de água estão entre os fatores que mais contribuem para os baixos desempenhos nos sistemas de abastecimento (TSUTIYA, 2005). Alguns países a exemplo da Alemanha e Japão, onde há um bom planejamento, gestão eficiente e investimentos no setor, as perdas de água atingem níveis abaixo de 10% (ANDRADE SOBRINHO *et. al.* 2012).

Os vazamentos de água em uma rede de distribuição, são classificados de acordo com a forma que podem ou não ser detectados. Assim, são basicamente três tipos:

- Vazamentos visíveis: podem ser identificados visualmente pois afloram sobre a superfície.
- Vazamentos inerentes: não são visíveis e nem podem ser identificados, pois possuem tamanhos insignificantes.
- Vazamentos não visíveis: são absorvidos pelo solo e não afloram à superfície, podendo ser detectados por métodos acústicos.

No Brasil, segundo o SNIS (2017), o índice de perdas médio é de 37%, valor extremamente alto, se comparado aos obtidos nos melhores sistemas de abastecimento mundiais. Em termos financeiros só em perdas de faturamento o valor chega a 11,3 bilhões de reais. Redes antigas, falta de manutenção adequada, investimentos limitados e quadro de pessoal reduzido são alguns dos fatores que contribuem para taxas de perdas ainda tão elevadas.



O volume de água disponibilizado pelas concessionárias pode ser decorrente tanto dos consumos autorizados, faturados ou não, quanto dos volumes não autorizados ou perdidos, caracterizados como perdas aparentes e físicas (TARDELLI FILHO, 2016).

No contexto da economia, as perdas se diferem, pois as reais incidem sobre os custos de produção e distribuição de água, enquanto as aparentes atingem os custos de venda de água.

É pertinente lembrar que, apesar de alguns consumos autorizados não serem medidos, estes não são definidos como perdas, mas como água não faturada. É o que acontece, muitas vezes, em áreas irregulares ou municípios de pequeno porte, nos quais as concessionárias fornecem água para atender a população, porém não tem controle efetivo sobre o volume disponibilizado e consumido, sendo cobrado um valor simbólico aos consumidores. Ações desse tipo comprometem o faturamento das empresas de saneamento e tornam pouco viável, financeiramente, a operação de sistemas de dimensões pequenas.

As perdas de água ocorrem desde a captação até a chegada ao consumidor final e são, em grande parte, causadas pela operação e manutenção deficientes das tubulações e pela inadequada gestão comercial dos prestadores de serviço público de abastecimento de água (ANDRADE SOBRINHO *et. al.* 2016).

A International Water Association – IWA destaca que existe um valor mínimo de perda que não pode ser evitado, seja por aspectos técnicos – no caso de vazamentos indetectáveis ou extravasamentos não previstos – ou econômicos, no qual o custo para redução das perdas é superior ao valor dos volumes recuperados. Lambert (2002) considera aceitável perdas de até 10% de água em sistemas de abastecimento.

As perdas na distribuição são as mais impactantes do ponto de vista social, pois envolvem a interrupção do abastecimento e a redução da água disponível durante a realização dos reparos (FONTANA, 2012).

À medida que os sistemas de distribuição envelhecem, novos vazamentos podem ocorrer e devem ser detectados e reparados. Assim, o gerenciamento de perdas deve ser um trabalho contínuo durante toda a vida útil dos sistemas.

Medidas técnicas para combater perdas de água incluem a setorização do sistema de abastecimento em zonas de pressão, o monitoramento para detecção, localização e reparação

de vazamentos ou perdas na rede, e o controle de pressões no sistema a fim de evitar picos, e consequentemente, danos às tubulações.

Diversos modelos de gestão de perdas estudados nacional e internacionalmente permitem o controle de pressões e vazões na rede em tempo real e utilizam a setorização. (DINIZ, 2012).

Porém, um dos principais desafios para implantação desses modelos de gestão no Brasil é o custo dos equipamentos medidores e dos sistemas de automação disponíveis no mercado, uma vez que na maioria das concessionárias do país se trabalha com recursos insuficientes ou limitados.

Andrade Sobrinho *et. al.* (2016) propôs um modelo de gestão que atuasse juntamente com o setor operacional para o combate às perdas em SAA utilizando metodologia Multicritério de Apoio à Decisão – Construtivista (MCDA-C), a partir da simulação de cenários com valores já existentes em bancos de dados. A dificuldade maior para efetivação desse tipo de metodologia é a existência de sistemas que tenham automação integrada à medição de vazão e mecanismos que armazenem dados para possibilitar que a análise seja realizada.

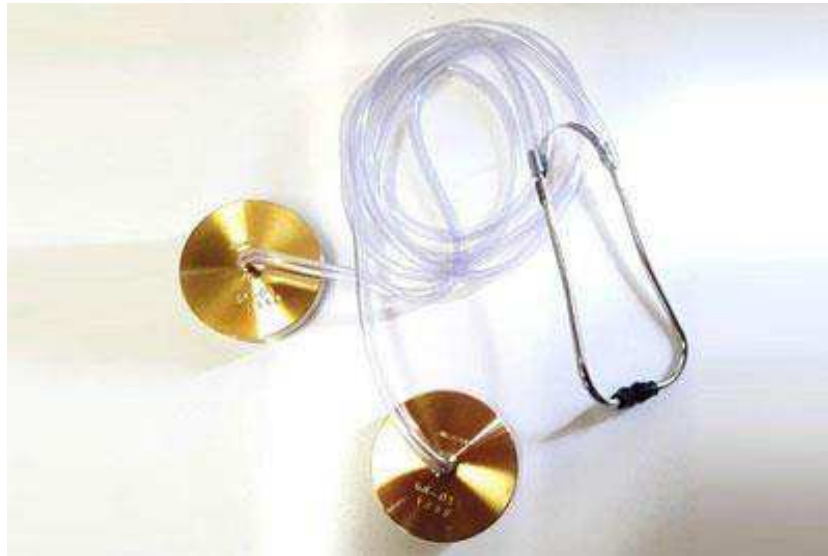
## **2.3 O GEOFONE**

O geofone é um equipamento que capta as vibrações e ruídos de vazamentos de água não visíveis, ou seja, que estão sob o solo. Basicamente ele capta o som da passagem da água pela abertura na tubulação pressurizada, podendo ser mecânicos ou eletrônicos.

### **2.3.1 Geofone Mecânico**

Geofones mecânicos, Figura 2, são aparelhos relativamente simples, que tem como princípio de funcionamento a ampliação do som dos vazamentos através de um par de amplificadores mecânicos, semelhantes a um estetoscópio. Seu peso mais elevado torna seu manuseio muito dificultoso, além de ser menos sensível (YAMATEC INDÚSTRIA, 2019).

**Figura 2:** Geofone mecânico.



Fonte: Mecaltec - Indústria e Comércio Ltda (2019).

### **2.3.2 Geofone eletrônico analógico**

Os geofones eletrônicos analógicos, Figura 3. Se baseiam no mesmo princípio de funcionamento, porém de forma mais sofisticada. Sendo constituídos por um cristal piezoelétrico, um amplificador de sinal e alguns filtros. O cristal piezoelétrico serve como sensor, pois, quando é submetido a uma pressão, gera um campo elétrico (em eixo transversal aquele onde foi aplicado a pressão) que pode ser coletado na forma de tensão. Como a tensão que o sensor gera é de baixa amplitude, é necessário a utilização do amplificador. Os filtros, por sua vez, são úteis na remoção de ruídos indesejados que podem prejudicar o processo de escuta do vazamento.

Segundo Dalmo, Viana e Mauad (2007) os geofones eletrônicos são capazes de permitir combinações diversas de filtros. Faixas mais largas admitem muitas frequências; mais estreitas admitem poucas frequências. Em geral, se tratando de tubulações de ferro, as faixas de frequência sonora são mais altas. Por outro lado, tubulações em PVC ou polietileno, possuem faixas de frequência mais baixas.

**Figura 3:** Geofone eletrônico analógico.



Fonte: Yamatec Ind. de Ferramentas Eletromecânicas (2019).

### 2.3.3 Geofone eletrônico digital

Os geofones eletrônicos digitais possuem o mesmo funcionamento, o que os difere é que o digital possui mais características incorporadas, Como: tela touch screen, filtros digitais, memórias, bluetooth, tela de frequência entre outras. A Figura 4 retrata essas novas características incorporadas.

**Figura 4:** Geofone eletrônico digital.



Fonte: Lws Equipamentos Para Saneamento (2019).

## 2.4 O PROCEDIMENTO DE DETECÇÃO DE VAZAMENTOS COM GEOFONES

Redes de distribuição de água são monitoradas por diversos tipos de sensores, como acústicos, de pressão e de vazão. Quando estes sensores identificam algum comportamento estranho na rede, é iniciada a busca pelo local de defeito na rede (BORGES, 2011).

O procedimento de suspeita de vazamentos também se passa por aumentos em contas de água. Um histórico de contas de água possui informações sobre a utilização da água, como perfil e sazonalidade do consumo. A partir do surgimento de um vazamento, ele não desaparecerá repentinamente, logo um aumento gradativo no consumo é um indicativo de vazamento.

Com a suspeita de vazamentos, técnicos em detecção acústica de vazamentos devem ser chamados para setorização do sistema de tubulações e redução da área provável de origem do vazamento, até que o seu local exato seja achado. A Figura 5 mostra o esquema da utilização do geofone na escuta dos vazamentos.

**Figura 5:** Utilização do geofone na escuta dos vazamentos de água.

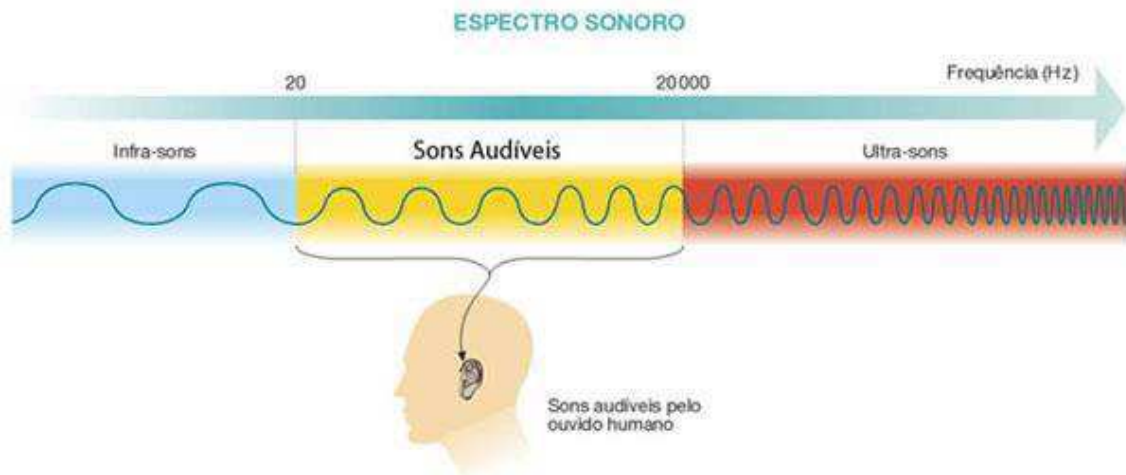


Fonte: Sondeq (2019).

### 2.4.1 O sinal Sonoro dos vazamentos

O som é uma vibração que se propaga na forma de ondas que possuem uma faixa de 20Hz a 20kHz. Abaixo de 20Hz encontra-se o infrassom e acima de 20kHz o ultrassom, como pode-se ver na Figura 6.

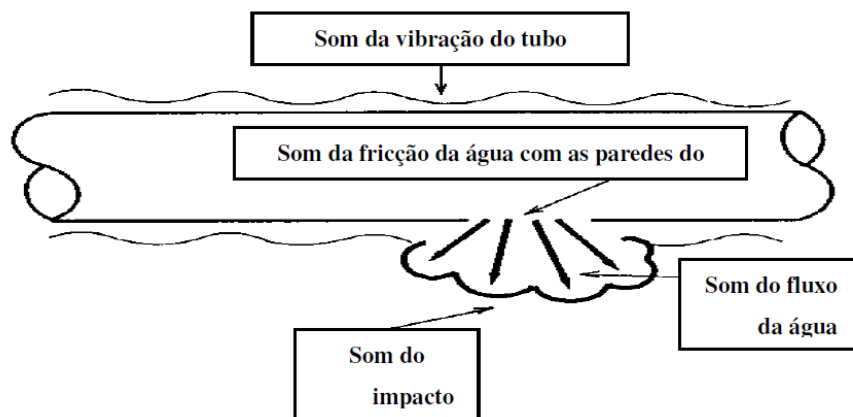
**Figura 6:** Espectro Sonoro.



Fonte: Cavaleiro e Beleza (2010)

O sinal sonoro de um vazamento é composto por diversos sons de fontes distintas, como representado na Figura 7. Onde, o sinal é basicamente formado por quatro fontes, a vibração do tubo, a fricção da água com as paredes do tubo, o impacto com o solo e a circulação do líquido com as partículas do solo. De forma que, o produto final seja o ruído de vazamento (COSTA, 2011).

**Figura 7:** Fontes do sinal sonoro de um vazamento.



Fonte: Waterworks Bureau of the Sapporo Municipal Government, 1994.

O ruído de vazamento pode ter seu formato influenciado por diferentes fatores, como: material, diâmetro, comprimento e profundidade da tubulação, também pelo tipo de solo em que está cravado. Dois exemplos disso são, a maior facilidade de propagação do ruído em tubulações metálicas e o som mais audível em tubulações enterradas sob solos arenosos (BORGES, 2011).

#### 2.4.2 Variáveis que influenciam no sinal sonoro do vazamento

O geofone é um aparelho que necessita de um operador que interprete o som captado das tubulações, sabendo também que os sons não são constantes. Sendo assim, não se pode parametrizar eles em uma frequência ou decibel específico. Na ocorrência de um vazamento existem diversas variáveis que influem sobre o sinal sonoro gerado, como: pressão da água, profundidade, material e diâmetro da tubulação, tipo de avaria da tubulação, idade do vazamento, tipo de solo sob o qual a tubulação está enterrada. A Tabela 1 a seguir mostra algumas interferências causadas pelas variáveis

**Tabela 1:** Interferência sonora das variáveis existentes

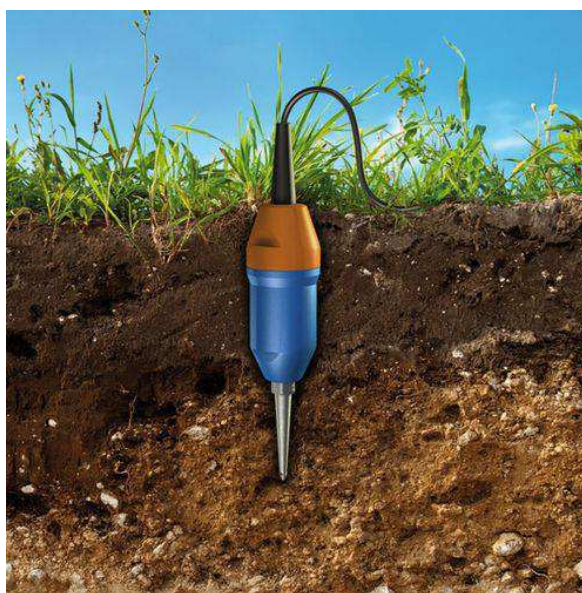
Parâmetros	Alta frequência	Média frequência	Baixa frequência
Faixa de frequência	Acima de 1000 Hz	500 – 1000 Hz	Abaixo de 500 Hz
Tamanho do orifício do vazamento	Pequeno	Grande	Muito grande
Configuração do orifício de vazamento	Complexo	Simples	Simples
Velocidade de escoamento no interior do tubo com vazamentos	Muito alta	Baixa	Muito baixa
Diâmetro do tubo	Pequeno	Médio	Grande
Material do tubo	Aço inoxidável e aço	Ferro fundido, fibrocimento, plástico (PVC) e polietileno.	
Distância	Próxima	Longe	Muito longe
Pressão da água	Alta	Baixa	Muito baixa

Fonte: Zaniboni (2009)

## 2.5 HISTÓRICO E UTILIZAÇÃO DO GEOFONE

O procedimento para detecção acústica foi incorporado no Brasil na década de 70, dando início a detecção de vazamentos não visíveis por meio do uso dos geofones, inicialmente com os geofones mecânicos. Como o geofone é um aparelho sensível às ondas, ele possui vasta aplicação em diversas áreas e não apenas para a detecção de vazamentos. O geofone é utilizado em detecções sísmicas como mostra a Figura 8. Na construção de túneis e também no monitoramento sismográfico das vibrações geradas por explosivos no desmonte de rochas.

**Figura 8:** Geofone Vertical Sísmico.



Fonte: Direct Industry (2019).

Um exemplo prático e interessante de aplicação do geofone é na pavimentação. O Levantamento deflectométrico, que consiste na verificação das deflexões máximas reversíveis e da linha de influência ao torno de um ponto com aplicação de carga. É um método de avaliação das condições estruturais do pavimento, o ensaio é chamado de “Falling Weight Deflectometer” (FWD). Neste levantamento o geofone é utilizado para medir estas deflexões.

Diversos trabalhos utilizando o geofone foram publicados, a seguir são descritos alguns deles:

- Universidade de São Paulo (USP)

O Programa de Uso Racional de Água - PURA - da Universidade de São Paulo – USP foi criado em 1995, com o acordo estabelecido entre a Escola Politécnica e a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). A implantação do programa foi



dividida em cinco etapas e após colocar em prática todas as medidas, obteve-se uma redução de 43% no consumo de água da instituição. O PURA – USP registrou a ocorrência no período de agosto de 2001 a maio de 2007, um total de 238 vazamentos, observando que os usos da haste de escuta, geofone eletrônico e correlacionador de ruídos auxiliaram no aumento da rapidez da detecção dos vazamentos (GONÇALVES, 2007).

- O Setor Casa Verde, São Paulo

Diniz (2012), apresenta em sua dissertação de mestrado um estudo de caso feito no setor Casa Verde, pertencente ao sistema produtor Cantareira, em São Paulo. Ele mostra que após constatar variações de pressão por possíveis vazamentos, é iniciada a pesquisa das fugas com os geofones eletrônicos. Foram realizadas pesquisas tanto nas redes de distribuição quanto em ramais prediais, com os ramais prediais apresentando maior quantidade de vazamentos.

- Universidade Federal de Itajubá

O estudo em questão visou percorrer linhas de distribuição de água dentro do campus da universidade, após a percepção de que o volume de consumo noturno estava obtendo valores parecidos aos consumidos durante o dia. O trabalho mostrou que o geofone eletrônico é eficiente na caça aos vazamentos não visíveis e foi encontrado 1 vazamento ao longo de comprimento de 934 m. Os autores indicaram que ainda continuaram uma pesquisa trabalhosa, na tentativa de diminuir as perdas de água na UNIFEI (DALMO; VIANA; MAUAD, 2007)

- Análise dos procedimentos para detecção de vazamentos não visíveis

Este estudo foi apresentado por Zaniboni (2009), com objetivo de mostrar vantagens e desvantagens na prática dos procedimentos determinados pela ABENDE – Associação Brasileira de Ensaio não Destrutivos. Ele acompanhou duas unidades de detecção de vazamentos da Sabesp, a Divisão de Controle de Perdas Sul e a Unidade de Negócios Sul. Um resultado importante que pode ser retirado da pesquisa é a importância do treinamento das equipes, observando aumento gradativo dos índices de acertos.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

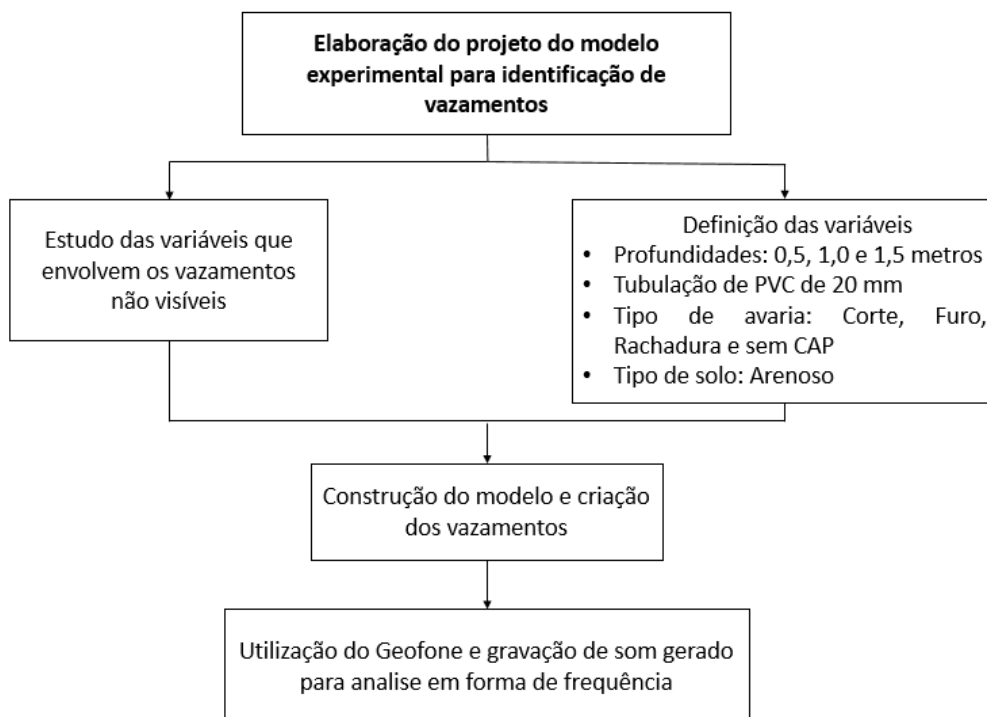
A seguir serão descritos os materiais e métodos utilizados no trabalho.

Para realização do estudo, foram realizados projeto e montagem de um modelo experimental de tubulações enterradas em profundidades diferentes, com a implantação de vazamentos artificiais escolhidos.

#### 3.1 FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES REALIZADAS

A pesquisa foi dividida em duas etapas. Na elaboração e montagem do modelo experimental de vazamento de água e em seguida foram realizadas leituras nos respectivos vazamentos do modelo com a utilização geofone eletrônico. A Figura 9 mostra o fluxograma das atividades realizadas. Para obtenção dos resultados foi conectado o Geofone em uma caixa de som e o áudio foi gravado por um smartphone, para leitura e análise em forma de frequência dos áudios gravados foi utilizado o software gratuito WavePad sound editor da empresa NCH software.

**Figura 9:** Fluxograma das atividades realizadas



Fonte: O autor (2019)

### 3.2 LOCALIZAÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL

O Campus central da UFCG localiza-se na cidade de Campina Grande, bairro Universitário, ocupando uma área de aproximadamente 31 hectares, subdividido em três Setores: A, B e C, como ilustra a figura 10. Possui uma infraestrutura com centro esportivo equipado com quadra poliesportiva, campos de areia e gramado, academia, um restaurante universitário, uma biblioteca central, laboratórios, centrais de aulas e auditórios que totalizam uma área construída de 78.536,79 m<sup>2</sup>, de acordo com dados da Prefeitura Universitária da UFCG.

**Figura 10:** Planta baixa do campus central da UFCG



Fonte: Universidade Federal de Campina Grande (2019)

O modelo experimental está localizado no setor A da universidade, por trás da prefeitura universitária, como evidenciado por um círculo amarelo na Figura 11 abaixo.

**Figura 11:** Localização do modelo experimental na Universidade



Fonte: Google Earth Pro (2019)

### **3.3 CARACTERÍSTICAS DO MODELO EXPERIMENTAL**

O modelo experimental é composto por tubos, conexões, registros, torneiras e os respectivos vazamentos. Formando três ramificações da tubulação original da universidade, a figura 12 dá uma visão geral das ramificações.

**Figura 12:** Visão geral do modelo experimental



Fonte: O autor (2019)

A seguir tem-se, na Tabela 2, o quantitativo dos materiais utilizados. O projeto mais detalhado está em anexo.

**Tabela 2:** Quantitativo dos materiais

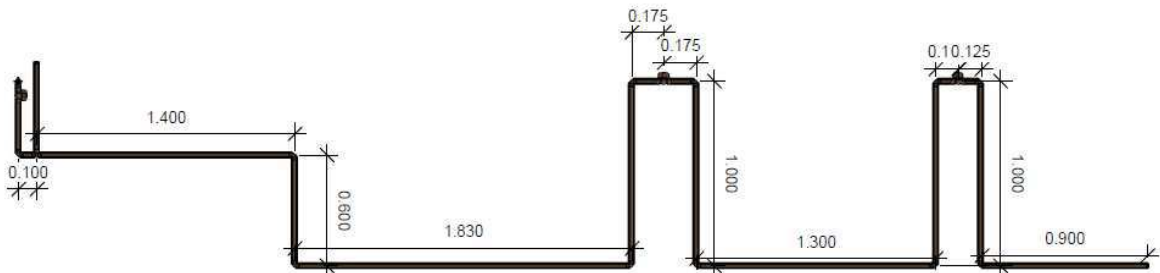
Materiais	Quantidades
Tê soldável	6
Joelho de 90°	23
Registro de esfera	7
Tubo PVC rígido $\varnothing 20$	30, 63 m
Torneira PVC de jardim	3

Fonte: O Autor (2019)

### 3.3.1 Ramificação 1

A Figura 13, apresenta o perfil da primeira ramificação do modelo.

**Figura 13:** Primeira Ramificação



Fonte: O Autor (2019)

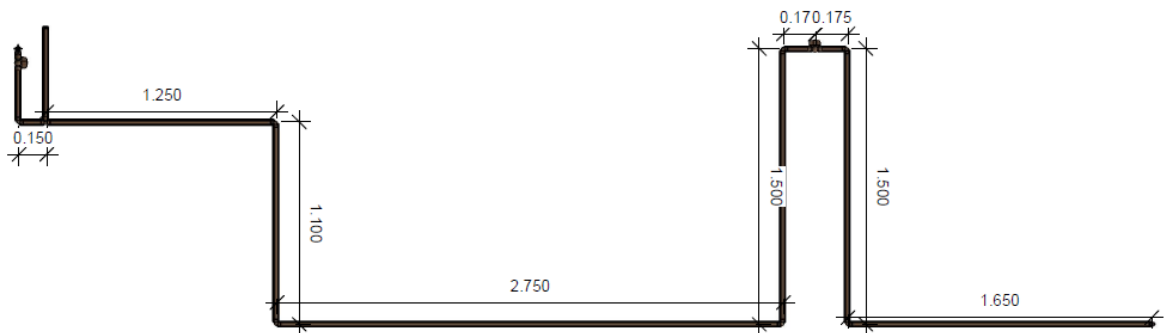
A primeira ramificação possui uma profundidade de até 1 m e contém três vazamentos ao longo de sua tubulação. O primeiro vazamento é um corte que está localizado a 8 cm do início do trecho de 1,83 m. O segundo vazamento é um furo localizado no meio do trecho de

1,30 m. E o terceiro vazamento se caracteriza por ser o tubo aberto sem o fechamento do CAP, estando localizado no final da tubulação da primeira ramificação.

### 3.3.2 Ramificação 2

A Figura 14 adiante, apresenta o perfil da segunda ramificação do modelo.

**Figura 14:** Segunda Ramificação



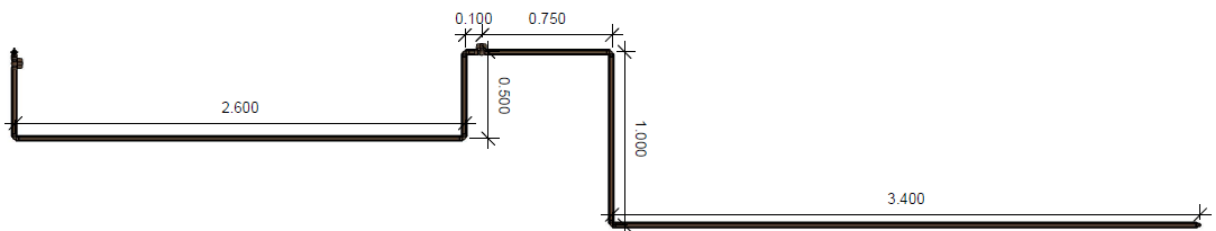
Fonte: O Autor (2019)

A segunda ramificação possui uma profundidade de até 1,5 m e contém dois vazamentos ao longo de sua tubulação. O primeiro vazamento é uma rachadura, feita com auxílio de marreta e que está localizada a 10 cm do início do trecho de 2,75 m. O segundo vazamento é um corte localizado a 0,05 m do final da tubulação.

### 3.3.3 Ramificação 3

A Figura 15, apresenta o perfil da terceira ramificação do modelo.

**Figura 15:** Terceira Ramificação



Fonte: O Autor (2019)

A terceira ramificação possui uma profundidade variável de 0,5 m a 1,0 m, contendo dois vazamentos ao longo de sua tubulação. O primeiro vazamento é um corte, feita com auxílio de uma serra e que está localizada a 10 cm do final do trecho de 2,60 m. O segundo vazamento é um furo localizado a 1,70 m do final da tubulação.

### **3.4 CARACTERÍSTICAS DOS VAZAMENTOS**

Ao todo foram 7 vazamentos “artificiais” criados, são eles: 3 cortes, 2 furos, 1 rachadura e um final de tubulação sem CAP ou tampão. O aterramento dos vazamentos foi feito com o mesmo material escavado, solo arenoso. A tubulação é de PVC de 20mm e a pressão é praticamente igual para todos os vazamentos.

#### **3.4.1 Vazamento – Corte**

O corte possui dimensões de 1 cm de comprimento e 1 mm de largura, como pode ser visto na Figura 16 e foi feito com o auxílio de uma mini serra.

**Figura 16:** Vazamento na tubulação - Corte



Fonte: O Autor (2019)

#### **3.4.2 Vazamento – Furo**

O outro tipo de avaria na tubulação foi um furo com 0,5 cm de diâmetro, que foi executado com a utilização de um prego. O furo é apresentado na Figura 17.

**Figura 17:** Vazamento na tubulação - Furo



Fonte: O Autor (2019)

### **3.4.3 Vazamento – Rachadura**

A rachadura foi obtida batendo no tubo com uma marreta, simulando a quebra do cano por algum impacto forte. Como o cano foi quebrado em dois lados, este vazamento não possui uma dimensão exata. A Figura 18 mostra a rachadura criada.

**Figura 18:** Vazamento na tubulação - Rachadura



Fonte: O Autor (2019)



### **3.4.4 Vazamento – Sem CAP**

O último tipo de vazamento é a saída da tubulação que não foi fechada com um tampão, ou seja, a água está seguindo com toda a sua vazão pela abertura.

### **3.5 APARELHO DE MEDIÇÃO UTILIZADO**

O equipamento utilizado foi o Kit Caça Vazamentos TEC 0506, Figura 19, fabricado no Brasil pela empresa Yamatec. É formado por três equipamentos básicos para o estudo dos vazamentos não visíveis, geofone eletrônico, haste de escuta e válvula pulsadora digital. Os componentes pertencentes ao kit estão listados a seguir.

- 01 Unidade de Controle (geofone eletrônico) para o sensor de solo tripé e o sensor da haste de escuta eletrônica.
- 01 Fonte Bivolt de 15v 1a.
- 01 Fone de Ouvido com bloqueio de ruído externo de 100Db.
- 01 Sensor de solo Eletrônico, com captação na vertical e horizontal.
- 01 Haste de Escuta Eletrônica, subdividido em três partes totalizando 120cm.
- 01 Válvula Pulsadora Digital, eletromecânica é o Modelo PDTEC512.
- 01 Bateria 12v 4,5 ah, com cabo 2x1 de 2 m e conector de 2 vias para o PDTEC512.
- 01 Carregador de Bateria, Bivolt e saída de 12v.
- 01 Manômetro 0 a 100 m.c.a, com mangueira de 25 cm e engate rápido.
- 01 Adaptador  $\frac{3}{4}$  x  $\frac{1}{2}$ .
- 01 Maleta em ABS injetado, resistente a quedas e a prova da água
- Peso total do Kit: 9,0 Kg.

**Figura 19:** Kit Caça Vazamento Yamatec TEC 0506



Fonte: Yamatec Ind. de Ferramentas Eletromecânicas (2019)

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Terminada a etapa de montagem das tubulações e criação dos vazamentos, foi posto em prática o Geofone eletrônico da Yamatec. Efetuando uma leitura em cada um dos 7 vazamentos do modelo experimental, optou-se por fazer as leituras no período noturno, como mostra a Figura 20 a seguir.

**Figura 20:** Utilização do geofone à noite



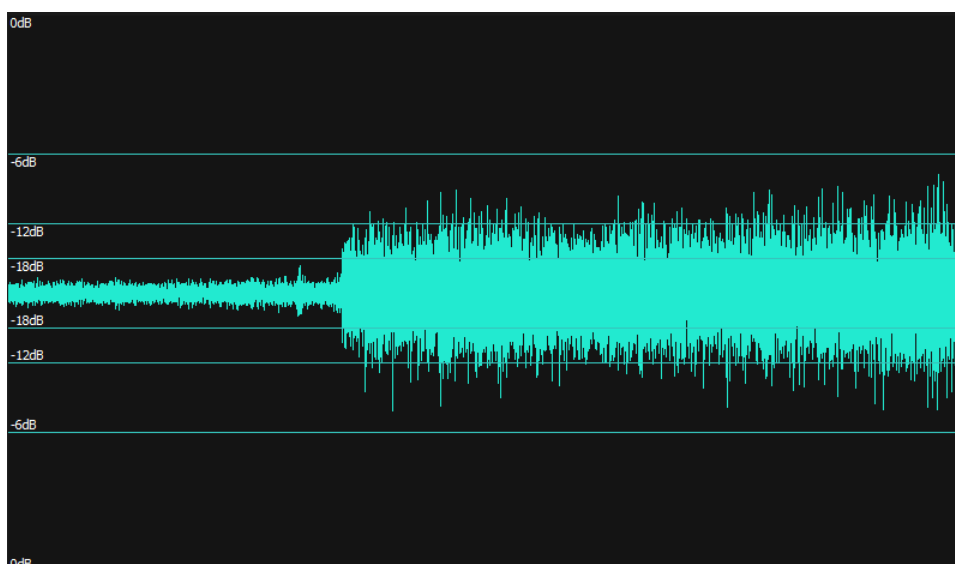
Fonte: O autor (2019)

Essa escolha pelo período noturno foi feita buscando minimizar a interferência do som ambiente com a realização da escuta e gravação em uma hora menos agitada. Outro fator foi a tentativa de obter uma maior pressão da água, que possivelmente com menor utilização do sistema o valor da pressão a noite seja maior obtendo um ruído mais audível do vazamento.

#### 4.1 RESULTADOS DOS VAZAMENTOS DE CORTES

Foram exatamente 3 vazamentos de corte com profundidades de 1m, 1,5m e 0,5m. A Figura 21 apresenta o gráfico obtido numa profundidade de 0,5m.

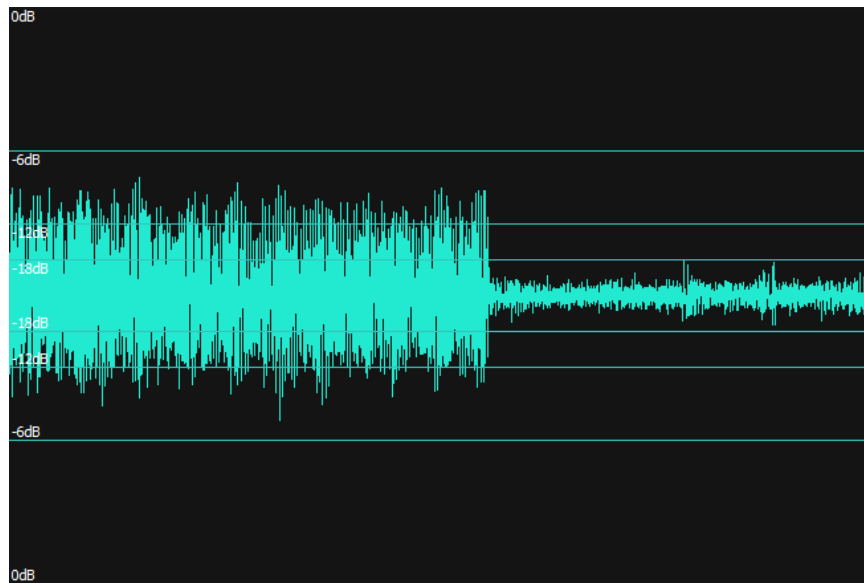
**Figura 21:** Gráfico de frequência corte – 0,5 m de profundidade



Fonte: NCH Software (2019)

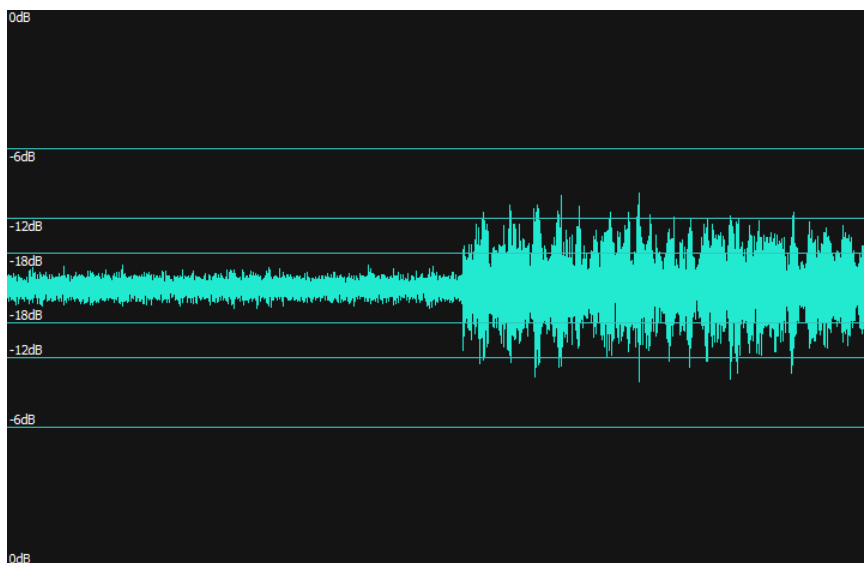
Como mostra a Figura 19, a frequência obtida apresenta níveis de amplitude de onda em decibéis dBFS e é apresentada a diferença de frequência e amplitude entre o som captado sem vazamentos e o som com vazamentos. Ficando reconhecível que as amplitudes e frequências das ondas sonoras sem vazamentos ou ambientes são bem menores que as ondas sonoras com a presença de um vazamento. Para comparação foi utilizada o valor de frequência máxima obtida em Hertz (Hz). As Figuras 22 e 23 ilustram os gráficos de frequência das profundidades de corte de 1,0 e 1,5 m respectivamente

**Figura 22:** Gráfico de frequência corte – 1,0 m de profundidade



Fonte: NCH Software (2019)

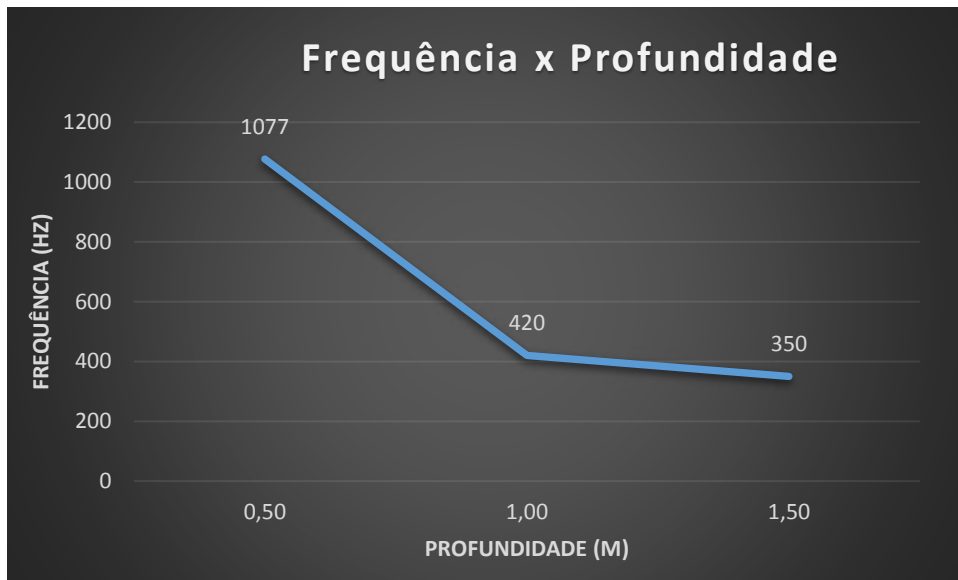
**Figura 23:** Gráfico de frequência corte – 1,5 m de profundidade



Fonte: NCH Software (2019)

Observando os gráficos ilustrados nas Figuras 21, 22 e 23. As profundidades de 0,5 e 1,0 metros, apresentam amplitudes parecidas, diferente do comportamento da onda sonora captada a 1,5 m, que é perceptível uma amplitude menor. Em termos de frequências máximas os valores foram respectivamente de 1077, 420 e 350 Hertz, constatando o fato de que quanto mais profunda a tubulação estiver enterrada, menores as amplitudes e frequências dos ruídos dos vazamentos, como representa a Figura 24. Por essa razão os vazamentos com maiores profundidades permanecem despercebidos por um tempo maior.

**Figura 24:** Frequência x Profundidade

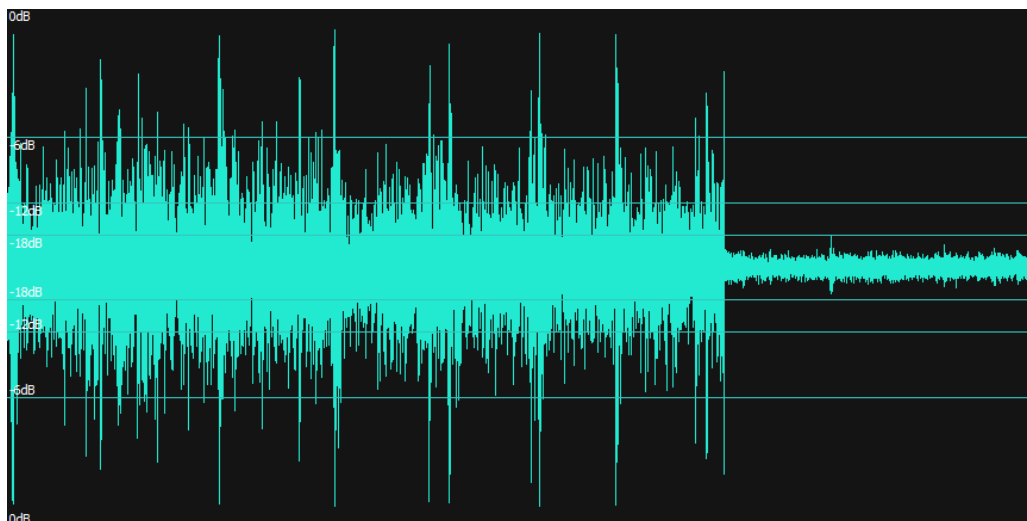


Fonte: O autor (2019)

## 4.2 RESULTADOS DOS VAZAMENTOS DE FUROS

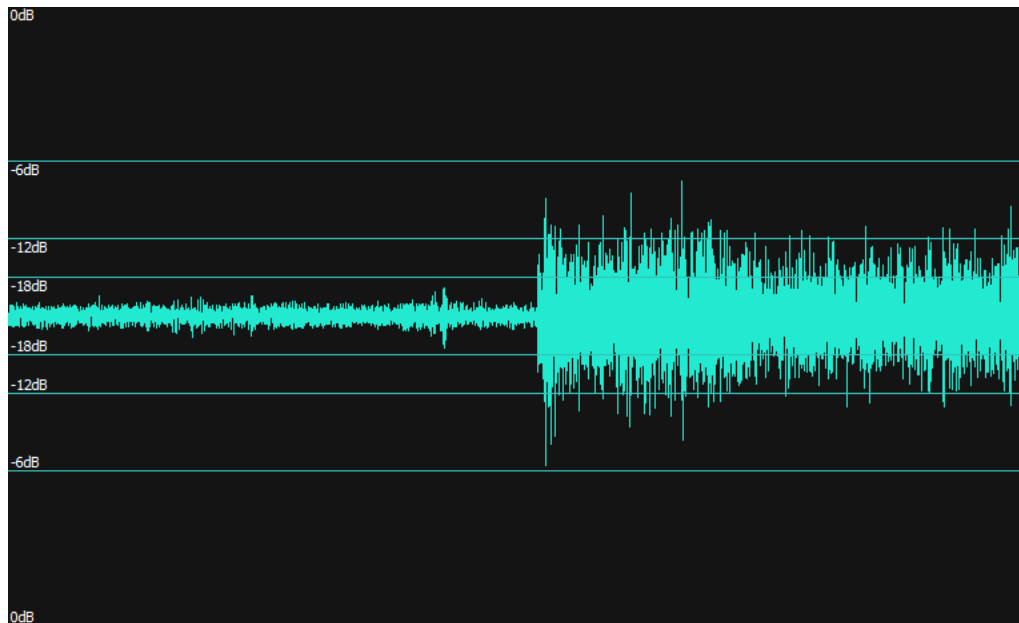
Os vazamentos de furos estão nas ramificações 1 e 3 e profundidades de 1,0 m. As Figuras 25 e 26 apresentam os gráficos de frequência obtidos.

**Figura 25:** Gráfico de frequência furo – 1,0 m de profundidade – ramificação 1



Fonte: NCH Software (2019)

**Figura 26:** Gráfico de frequência furo – 1,0 m de profundidade – ramificação 3



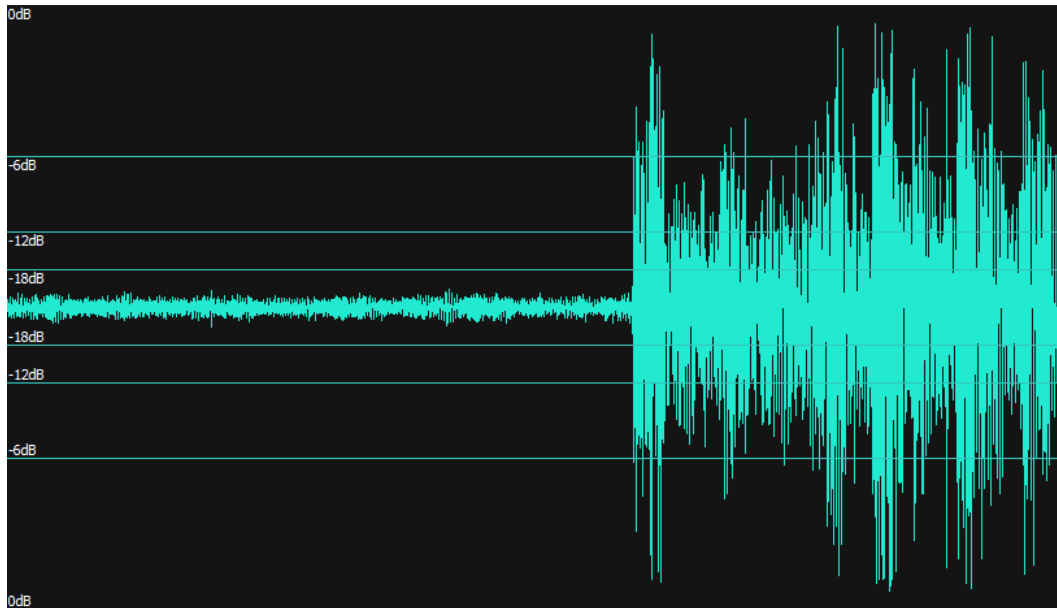
Fonte: NCH Software (2019)

As Figuras 25 e 26 apresentam frequências máximas de 702 e 795 Hertz, sendo relativamente próximas, o que é explicado por serem vazamentos com geometria da abertura, profundidade e pressões praticamente iguais. Com parâmetros de interferência sonora iguais era esperado valores de frequência iguais também. Contudo, fica evidente a inconstância e a dificuldade de parametrizar as ondas sonoras dos vazamentos em uma frequência específica.

### **4.3 RESULTADOS DOS VAZAMENTOS DA RACHADURA E SEM CAP**

O vazamento da rachadura está na ramificação 2 com uma profundidade enterrada de 1,5 metros. Segue na Figura 27 o gráfico de frequência obtido.

**Figura 27:** Gráfico de frequência rachadura – 1,5 m de profundidade



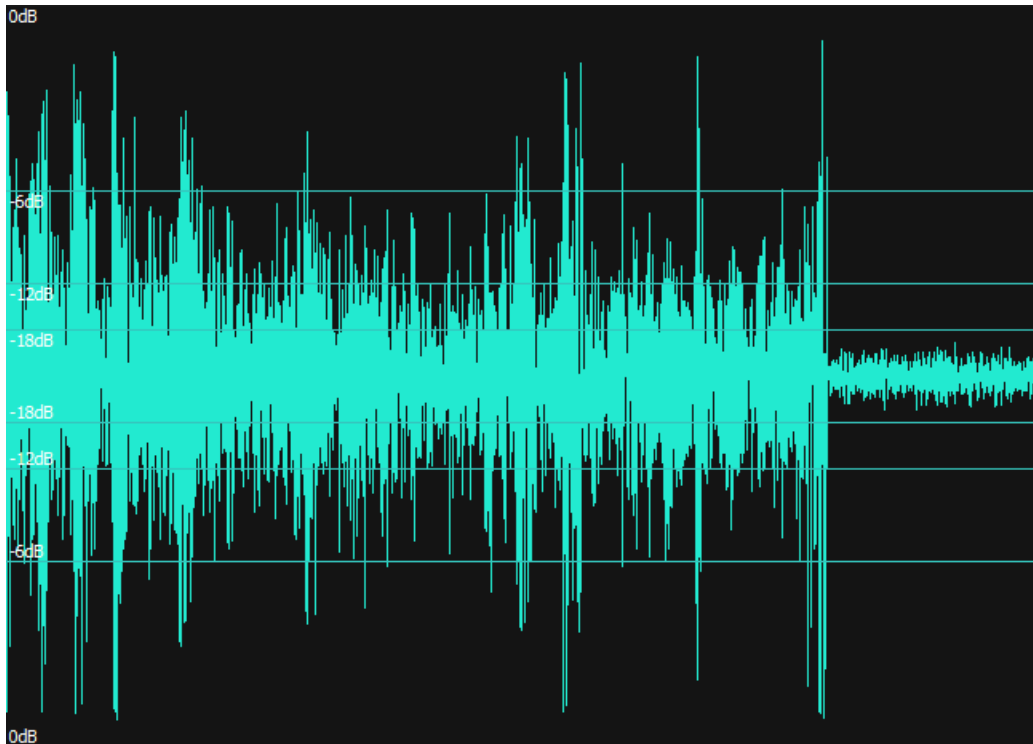
Fonte: NCH Software (2019)

Como se pode observar pela Figura 27, a amplitude da onda sonora da rachadura é grande, bem como a sua frequência de 1194 Hz, que ocupa o posto de maior frequência captada entre os vazamentos do modelo experimental. Como visto anteriormente, a frequência dos vazamentos deveria diminuir com o aumento da profundidade e mesmo com a maior profundidade este vazamento obteve maior frequência.

A explicação para o comportamento descrito acima está baseada no parâmetro de configuração do orifício do vazamento que foi apresentado na Tabela 1. A rachadura dentre os 7 vazamentos é o que apresenta maior complexidade em sua geometria de saída da água, e essa variante acabou por ter influência maior na resposta sonora do que a profundidade

O vazamento com a tubulação aberta sem o CAP, está no final da ramificação 1, e possui uma profundidade abaixo da superfície de 1,0 metro. Seu respectivo gráfico está exposto na Figura 28.

**Figura 28:** Gráfico de frequência sem CAP – 1,0 m de profundidade



Fonte: NCH Software (2019)

O vazamento com a tubulação aberta sem o CAP, obteve comportamento sonoro surpreendente, pois, sua frequência máxima foi de 819 Hz. Superando as frequências dos vazamentos de furo e corte a uma mesma profundidade de 1,0 metro. Essa surpresa se deve ao fato de o vazamento ter o maior tamanho do orifício ou abertura do vazamento e como mostra a tabela 1 retirada do estudo de Zaniboni (2009), esse parâmetro deveria ser inversamente proporcional a frequência, ou seja, quanto maior o orifício do vazamento menores deveriam ser os valores de frequência.

Causas prováveis para explicar este fenômeno são: a vazão de água saindo deste vazamento é a maior, o que pode ter gerado um som de quebra de fluxo maior que os gerados pelos outros vazamentos; a compactação manual feita pode ter sido favorável a condução do som neste caso, obtendo uma frequência resultante maior que o esperado.



#### 4.4 RESUMO DOS RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os valores de frequência dos vazamentos com as suas respectivas profundidades enterradas.

**Tabela 3:** Valores de profundidade e frequência dos vazamentos

Vazamento	Profundidade (m)	Frequência (Hz)
Corte	0,5	1077
Corte	1,0	420
Corte	1,5	350
Furo da ramificação 1	1,0	702
Furo da ramificação 2	1,0	795
Sem CAP	1,0	819
Rachadura	1,5	1194
Sem Vazamento	-	139

Fonte: O Autor (2019)

A Tabela 4 apresenta uma comparação em quantas vezes os valores de frequências máximas dos vazamentos são maiores que o valor da frequência ambiente ou sem vazamento. Sendo exposto que o menor valor obtido foi 2,5 vezes maior que o som ambiente, revelando a eficiência do geofone eletrônico em seu propósito.

**Tabela 4:** Comparação com a frequência ambiente

Vazamento	Frequência (Hz)	Comparação com o som ambiente (vezes 139)
Corte	1077	7,7
Corte	420	3,0
Corte	350	2,5
Furo da ramificação 1	702	5,1
Furo da ramificação 2	795	5,7
Sem CAP	819	5,9
Rachadura	1194	8,6
Sem Vazamento	139	1,0

Fonte: O Autor (2019)

Uma consideração a ser feita olhando os resultados obtidos é que eles expressam valores de uma só leitura dos vazamentos. Uma análise com a realização de várias leituras possibilitaria um estudo estatístico, para encontrar uma faixa de frequência padrão em que cada vazamento se encontra.

## 5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos e do trabalho realizado pode-se concluir que:

Foi possível compreender o tamanho da importância de diminuir as perdas em sistemas de abastecimento, visto os crescentes problemas de escassez de água. Assim, o geofone eletrônico trabalhando conjuntamente com haste de escuta, válvula pulsadora, correlacionador de ruído e controle efetivo das pressões no sistema podem ser aproveitados na tentativa de minimização das perdas.

O modelo experimental construído possibilitou o estudo e avaliação dos vazamentos não visíveis elaborados e de suas respectivas variáveis que influenciam sobre os seus sinais sonoros. O comportamento da profundidade atuando inversamente ao aumento da frequência ficou exposto de maneira clara e objetiva. A configuração do orifício do vazamento mostrou ser uma variável de grande influência sobre o ruído do vazamento, ultrapassando a atuação da profundidade, enquanto, o tamanho da abertura do vazamento apresentou surpresa e necessita de maiores estudos.

O geofone inicialmente apresenta complexidade na sua utilização, visto que necessita de um operador que escute e interprete o som. Em resumo, fica perceptível a importância do treinamento para localização de vazamentos com mais rapidez e efetividade.

Levando em conta que se trata de um modelo experimental e como tal passou pelos problemas iniciais de qualquer projeto, este trabalho serve como base para a iniciação de trabalhos futuros. Sugestões deixadas são:

- ✓ Estudo das demais variáveis que influenciam sobre o sinal sonoro do vazamento, procurando deixar o modelo experimental mais completo.
- ✓ Estudo estatístico para desenvolver um padrão de frequência dos vazamentos.
- ✓ Controle de compactação quando no aterramento das tubulações.
- ✓ Utilização prática do kit vazamentos no campus da Universidade Federal de Campina Grande, buscando vazamentos não visíveis que podem existir.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDRADE SOBRINHO, R. BORJA, P. C. Perdas de água e eficiência energética na região metropolitana de Salvador: a percepção dos técnicos da EMBASA. 42<sup>a</sup> Assembleia Nacional da ASSEMAE, 2012.

ARNESEN, ALLAN SADDI; PADOVESE, LINILSON RODRIGUES; MIKI, MARCELO KENJI; CARVALHO, MARCELO APARECIDO DOS SANTOS. Sistema digital de pesquisa de vazamentos de água: desenvolvimento de plataforma, gravações e análises de sinais. Revista DAE, v. 64, p. 33-44, 2015.

BORGES, Liselene de Abreu. Extração de parâmetros característicos para detecção acústica de vazamento de água. 2011. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

CAVALEIRO, M. N. G. C. & BELEZA, M. D. (2010). FQ 8 Sustentabilidade na Terra – 3.º ciclo do ensino básico, 8.º ano de escolaridade. Porto: Edições ASA.

COSTA, Robson Fontes da. Métodos e aplicações de técnicas de locações de vazamentos não visíveis em sistemas de abastecimento de água. 2011. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Centro Estadual de Educação Tecnológica Paulo Souza, São Paulo, 2011.

DALMO, Francisco César; VIANA, Augusto Nelson Carvalho de; MAUAD, Frederico Fábio. UTILIZAÇÃO DO GEOFONE ELETRONICO NA PESQUISA E DETECÇÃO DE VAZAMENTOS: ESTUDO DE CASO. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2007. p. 1 - 17.

DINIZ, A. R. S. Avaliação do controle de perdas físicas em redes de distribuição de água da região metropolitana de São Paulo. 2012. 95f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2012.

DIRECT INDUSTRY (Ed.). GEOFONE VERTICAL. Disponível em: <<https://www.directindustry.com/pt/prod/sercel-inc/product-137881-1920062.html>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

FONTANA, M. E. Modelo de setorização para manobra de rede de distribuição de água baseado nas características das unidades consumidoras. 2012. 101 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Recife, Pernambuco. 2012.

FREITAS, Clarissa Câmara de. EXTRAÇÃO DE CONHECIMENTOS EM BASE DE DADOS NA GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE CAMPINA GRANDE – PB. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

FUNASA. Manual de saneamento: orientações técnicas. Brasília, 2015.

GOMES, H. P. Eficiência Hidráulica e Energética em Saneamento: Análise Econômica de Projetos. 2. ed, João Pessoa, Brasil, Editora UFPB, 2009.

GONCALVES, O.M; SILVA, G. S. DA; TAMAKI, H. O. Programa de uso racional da água da USP (PURA): implementação e resultados. Hydro (São Paulo), v. 1, p. 60-64, 2007.

GOOGLE EARTH. Página inicial. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em 12 de setembro de 2019.

KUSTERKO, S. ENSSLIN, S. R. ENSSLIN, L. CHAVES, L. C. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v.23, n.3, p. 615-626, maio/jun, 2018.

LAMBERT, A. O. International report on water loses management techniques. Water Science and technology: water supply, v. 2, p. 1-20, 2002.

LWS EQUIPAMENTOS PARA SANEAMENTO (Ed.). GEOFONE DIGITAL ELETRÔNICO DXMIC COM MEMÓRIA E FILTROS DE FREQUÊNCIA. Disponível em: <https://lws-saneamento.com.br/agua/produto/geofones-eletronicos/geofone-eletronico-dxmic.htm>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MECALTEC - INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA (Ed.). Geofone Mecânico. Disponível em: <https://www.mecaltec.com.br/geofone-mecanico.php>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MENESES, R. A. Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

MORAIS, D. C.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. Priorização de áreas de controle de perdas em redes de distribuição de água. Pesquisa Operacional. Vol.30, n. 1. Rio de Janeiro, RJ. 2010.

NCH SOFTWARE. WavePad sound editor. Disponível em: <<https://www.nch.com.au/wavepad/index.html>>. Acesso em: 04 nov. 2019.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Portal Eletrônico. Brasília: Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 19 de maio de 2019.

SONDEQ. GEOFONE ELETRÔNICO. Disponível em: <[http://www.sondeq.com.br/pt/nd\\_controle\\_geofone.php](http://www.sondeq.com.br/pt/nd_controle_geofone.php)>. Acesso em: 04 dez. 2019.

TARDELLI FILHO, J. Aspectos relevantes do controle de perdas em sistemas públicos de abastecimento de água. Revista DAE, São Paulo, Ed. 201, vol. 54. p. 6-20. 2016.

TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. Planta baixa do campus central. Disponível em: <<https://portal.ufcg.edu.br/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

WATERWORKS BUREAU OF THE SAPPORO MUNICIPAL GOVERNMENT. Water leaks prevention, Sapporo, 1994.

YAMATEC IND. DE FERRAMENTAS ELETROMECÂNICAS (Ed.). DETECTOR DE VAZAMENTOS GEOFONE ELETRÔNICO TEC-0406. Disponível em: <<https://www.yamatec.com.br/geofone-eletronico-tec-0406>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

YAMATEC INDÚSTRIA. Curso de Detecção de Vazamentos Yamatec. São Paulo: Yamatec Indústria, 2019. 140 slides, color.

ZANIBONI, Nilton. Equipamentos e metodologia para o controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água. 2009. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

## **7. ANEXOS**

**ANEXO A** – Planta baixa e cortes do modelo experimental em tamanho A2.