

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

UTILIZAÇÃO DE SENSORES VIBROACÚSTICOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS DE LÍQUIDOS A PARTIR DE DUTOS DA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO.

AUTORES:

Polliana Corrêa Morais, Flávia Morini Garcia, Jeferson Giaretton, Marinho Bastos Quadri

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

UTILIZAÇÃO DE SENSORES VIBROACÚSTICOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE VAZAMENTOS DE LÍQUIDOS A PARTIR DE DUTOS DA INDÚSTRIA DE PETRÓLEO.

Abstract

In the past years, a number of pipeline leak detection systems have been implemented on various operational pipelines. This work aims the implementation of vibroacoustic sensors to detect water leaks in pipelines. The biggest challenge of this work is to isolate a characteristic frequency of leakage. The used methodology consists of three phases. In the first two phases were carried out water leaks in a duct 2 m long with diameter holes of 4 mm. The system pressure was adjusted to 5.9×10^5 Pa. In the first stage was used as a piezoelectric accelerometer sensor to detect the leak. In the second one the sensor used was a notebook microphone. In the third phase was to basically use the two mentioned sensors to capture situations in which no leakage duct was struck with a metallic instrument. The research is in early stages, but initial results were promising. Based on them, it is possible to define a region in which the most probable characteristic frequencies appear.

Introdução

As redes de dutos são amplamente utilizadas em todo o mundo para o transporte e a distribuição de produtos derivados do petróleo e inclusive gás natural. Um dos maiores problemas encontrados para garantir a segurança nessa operação de transporte é o desenvolvimento de rupturas nesses dutos as quais podem ser geradas pela corrosão, pela variação brusca de pressão ou pela falta de manutenção adequada deles (REDDY, 2010).

Atualmente, existe uma enorme variedade de métodos de detecção de vazamentos os quais variam desde a simples inspeção do duto até os métodos acústicos. Um sistema de detecção de vazamentos por si só não tem efeito sobre a integridade técnica do duto uma vez que só é instalado para advertir o operador do sistema da ocorrência de um vazamento para que ele possa gerenciar os prováveis riscos gerados por esse evento (ABDHULIMEN, 2004). A escolha do método de detecção de vazamentos a ser utilizado depende de uma variedade de fatores os quais incluem as características do duto e do produto a ser transportado, a instrumentação necessária além dos aspectos econômicos relacionados. Vale ressaltar que nenhum método de detecção é universalmente aplicável ou possui todos os recursos e funcionalidades requeridas para a perfeita detecção dos vazamentos. Apesar de esses atributos serem os ideais.

Nesse trabalho, utilizaram-se sensores vibroacústicos os quais podem detectar vazamentos muito pequenos em um curto espaço de tempo. O princípio de operação desses sensores é a detecção de ondas sonoras ou de vibração geradas no instante do vazamento. É de suma importância a apropriada localização dos sensores para que as medições realizadas sejam confiáveis (MACLEOD et al, 1991). A vantagem desse método é que ele pode fazer a supervisão de uma grande área da planta com a instalação de apenas alguns sensores. O uso de filtros, para que o sinal não seja corrompido por ruídos de operação ou ambientais, e também técnicas de processamento de sinal são importantes para uma melhor sensibilidade e sucesso do método (GARCIA, 2010).

A análise dos dados nesse trabalho será realizada através da Série de Fourier de Tempo Discreto a qual é um caso particular da Transformada de Fourier. Essa é válida somente para sinais periódicos e discretos no tempo. Porém, ocorre que elas correspondem à única representação de Fourier que pode ser avaliada e manipulada numericamente em um computador, pois tanto a representação no domínio do tempo quanto a representação no domínio da frequência são caracterizadas de forma exata por um

conjunto finito de N valores. Por tal razão, a representação por Séries de Fourier de Tempo Discreto comumente é usada para aproximar numericamente as demais representações de Fourier (Séries de Fourier, Transformada de Fourier e Transformada de Fourier de Tempo Discreto) (AZEVEDO, 2009).

O objetivo desse trabalho consiste no isolamento de frequências características para casos de vazamentos de água em dutos. Para isso serão utilizados dois tipos de sensores com os quais os sinais gerados por esses eventos serão obtidos. A análise desses dados será feita através da Transformada Discreta de Fourier.

Metodologia

Os experimentos realizados utilizaram a bancada experimental de detecção de vazamentos do Laboratório de Controle de Processos, do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina. Essa consiste em um duto em aço inox com 2 m de comprimento, 10 cm de diâmetro interno e com parede de 5,7 mm de espessura, conforme pode ser observado na Figura 1.



Figura 1 - Bancada experimental utilizada.

Os experimentos foram realizados em três etapas. Na primeira, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Um acelerômetro piezoelétrico, modelo 4793, fabricado pela Brüel & Kjaer, cuja função é a captação do sinal emitido por vazamento. Esse acelerômetro foi fixado a 50 cm do orifício de vazamento.
- Condicionador de sinais, também da Brüel & Kjaer, cuja função é apropriar o sinal para a posterior conversão digital.
- Uma placa analógico-digital-analógico (ADA), fabricada pela Datatranslation, modelo DT9816, com 8 canais A/D, 16 bits de resolução, range de entrada analógica de ± 10 V e com frequência de amostragem de 750 kHz.
- Computador para a aquisição e armazenamento dos sinais os quais serão analisados posteriormente.

Já na segunda etapa, utilizou-se como sensor o microfone interno do computador. A faixa de medição desse sensor varia entre 20 e 20000 Hz. A placa de aquisição do utilizada nesse caso possui uma frequência de amostragem de 44,1 kHz. Esse sensor foi posicionado paralelamente ao orifício de vazamento a 1 m de distância.

Na terceira, e última etapa, realizou-se experimentos para casos de não vazamento. Basicamente, golpes com objetos metálicos foram deferidos contra o casco do duto e então os sinais gerados por

esses eventos eram obtidos pelos sensores (acelerômetro e microfone). Essa etapa foi realizada para posteriormente se confrontar os sinais obtidos no caso de um vazamento com um de não vazamento. Essa comparação poderá permitir a verificação da existência de frequências características para os casos de vazamentos.

Nas duas primeiras etapas utilizou-se uma fechadura eletromagnética para o acionamento do vazamento e também em todos os vazamentos foi empregada a placa cujo diâmetro do orifício é de 4mm. Na Figura 2 é possível observar essa placa e o local onde ela é acoplada no duto.

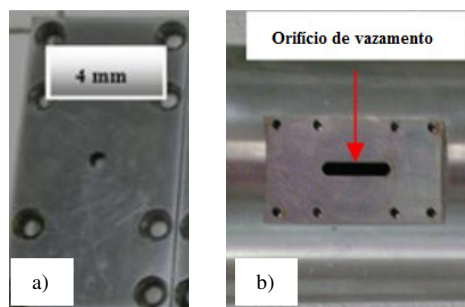


Figura 2 - a) Placa de vazamento de 4mm b) Detalhe do orifício de vazamento no qual se acopla a placa.

Para realizar os experimentos de vazamento o duto foi preenchido com água e, então, com o auxílio de ar comprimido elevava-se a pressão. Utilizou-se em todos os casos a pressão interna de $5,9 \times 10^5$ Pa a qual era medida com o auxílio de um manômetro.

Assim, atingida a pressão desejada, manualmente a fechadura eletromagnética era acionada, iniciando, então, o vazamento. Concomitantemente ao acionamento da fechadura, o sensor era ativado e capturava-se o sinal gerado pelo vazamento durante o período de 1 ou 5 segundos, dependendo do caso. Esse pequeno intervalo de tempo garante que apenas água estaria vazando. Isso porque em intervalos maiores poderia ocorrer a saída da mistura água/ar e isso influenciaria nos sinais obtidos, uma vez que as frequências observadas para vazamentos exclusivamente de água ou de ar são diferentes.

Resultados e Discussão

Após a aquisição dos dados gerados nos experimentos, passou-se para a fase de análise dos mesmos. Neste trabalho utilizou-se a Análise Espectral de Frequência através da Transformada Discreta de Fourier com a qual se obtém uma resposta em frequência.

Inicialmente, plotou-se o gráfico da frequência pelo tempo no qual todas as frequências obtidas pelo acelerômetro durante o vazamento de água são mostradas, conforme a Figura 3. Embora a faixa de medição do acelerômetro seja de até 375 kHz, as frequências observadas se restringiram a 60 kHz. As frequências de 55,55, 35,15 e 17,69 kHz provavelmente são ruídos presentes no ambiente já que elas estavam presentes mesmo antes do vazamento iniciar. As frequências de 6,24, 4,03 e 1,37 kHz aparecem assim que começa o vazamento e persistem ao longo do tempo. Para avaliar se alguma dessas frequências possa ser a característica de vazamentos de água é necessário observar se elas não aparecem no caso de não vazamento.

Na Figura 4 a) é possível observar o espectro em três dimensões (tempo, frequência e magnitude) do sinal do vazamento. Já na Figura 4 b) se apresenta o sinal resultante da batida no casco do duto usando o acelerômetro como sensor.

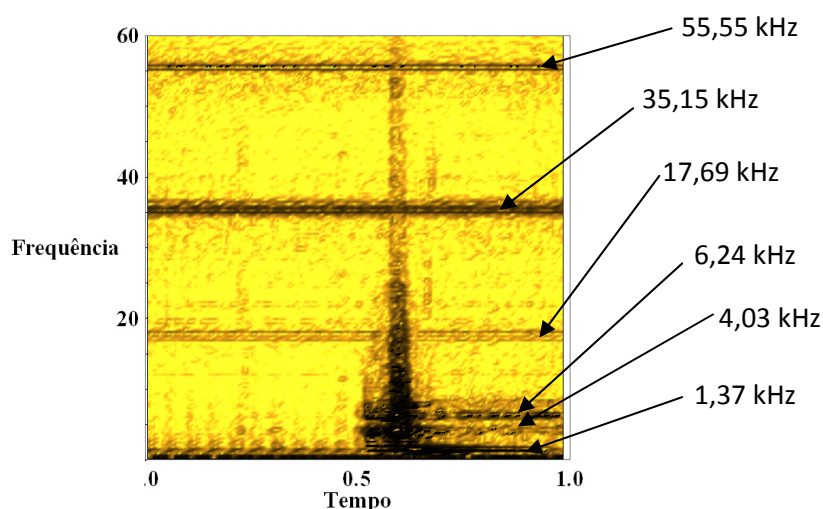


Figura 3 - Espectro do vazamento abrangendo toda a faixa de frequências obtidas.

No sinal da batida observa-se que ele possui uma magnitude muito superior em relação ao caso de vazamento. Isso ocorre devido à alta sensibilidade do sensor em relação às vibrações.

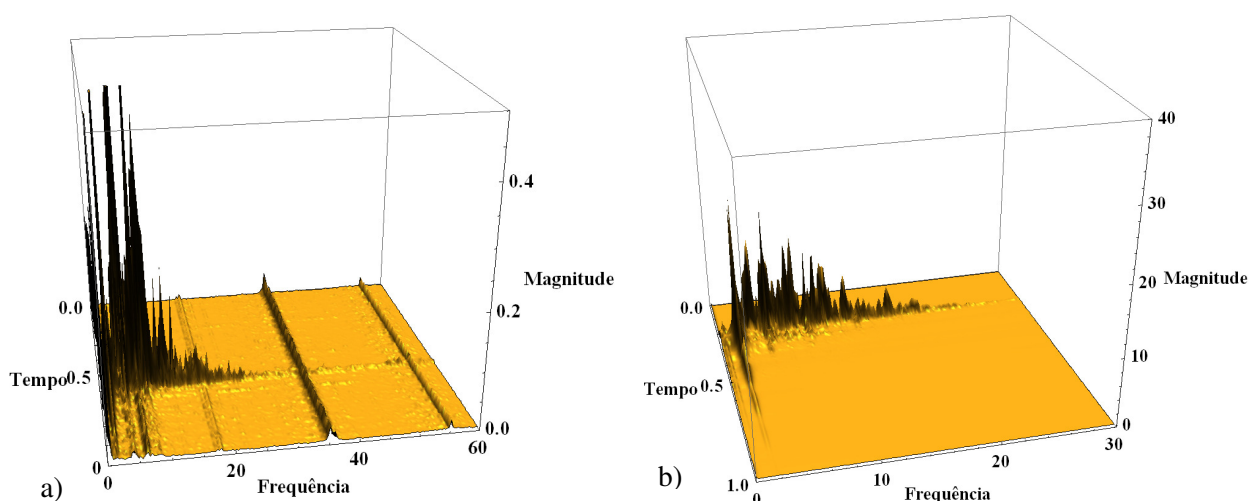


Figura 4 - a) Espectro 3D do sinal de vazamento de água usando o acelerômetro. b) Espectro 3D do sinal da batida usando o acelerômetro.

Na Figura 5 a), está representado o espectro do vazamento onde se ressaltou as frequências de 6,24, 4,03 e 1,37 kHz. Já na Figura 5 b) tem-se o espectro da batida. É possível notar a ausência dessas frequências na batida, excetuando-se a de 4,03 kHz.

Dessa maneira, mais experimentos devem ser realizados a fim de verificar se essas frequências continuam a se repetir para que se possa realmente afirmar que elas são características para os casos de vazamento de água utilizando-se como sensor um acelerômetro.

Além disso, é necessário realizar-se mais testes de não vazamento. Por exemplo, a utilização de bombas, compressores próximos ao sensor para captar os sinais gerados por esses equipamentos e então confrontá-los com os de vazamento.

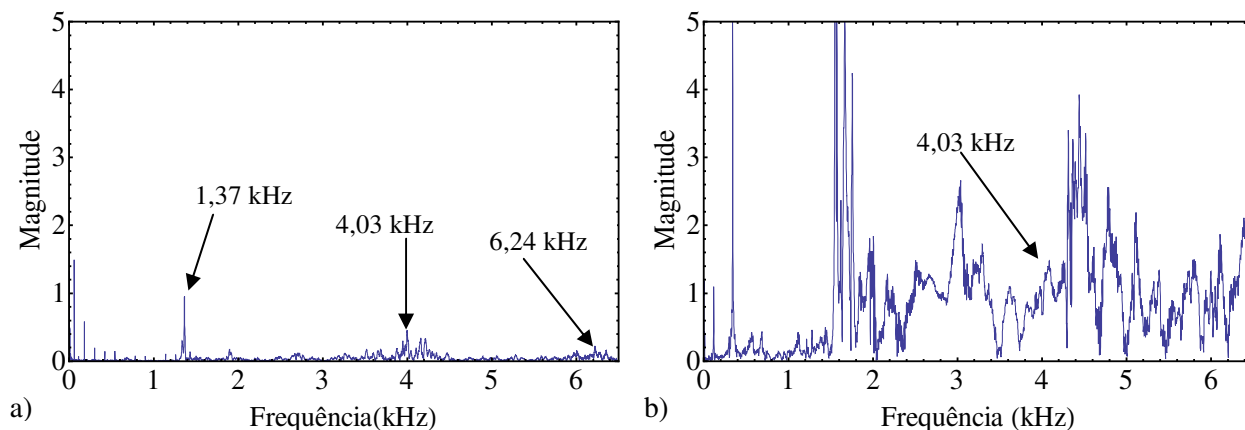


Figura 5 - a) Espectro do sinal de vazamento de água usando o acelerômetro. b) Espectro do sinal da batida usando o acelerômetro.

Os espectros em três dimensões para o vazamento de água, nas mesmas condições do anterior, e para a batida no casco do duto, utilizando-se como sensor o microfone estão representados na Figura 7 a) e b), respectivamente.

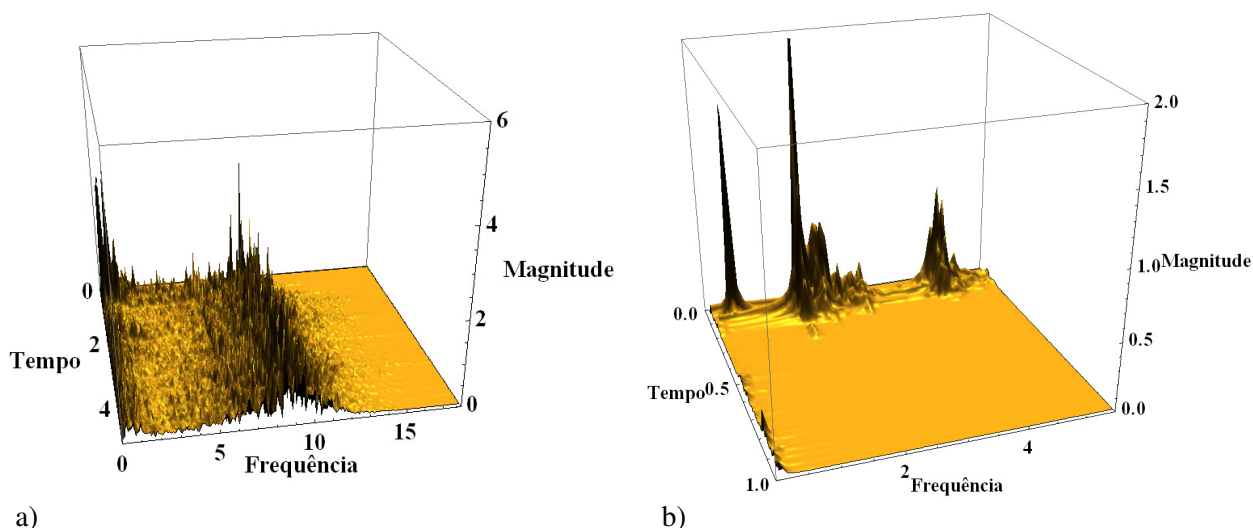


Figura 6 - a) Espectro 3D do sinal de vazamento de água usando o microfone. b) Espectro 3D do sinal da batida usando o microfone.

No caso do vazamento, observando-se exclusivamente a Figura 7 a) fica muito difícil distinguir quais são as frequências que persistem ao longo do tempo.

Já na Figura 8 essas frequências ficam mais evidentes uma vez que elas formam uma espécie de “rastro” no espectro. Essas frequências que persistem ao longo do tempo são as de 0,53, 0,99, 5,97 e 8,62 kHz.

Novamente, é necessário verificar se essas frequências não aparecem também em uma situação de não vazamento. Baseando-se na Figura 9, fica evidente a ausência das referidas frequências no espectro da batida, apesar da grande diferença de magnitude entre os sinais.

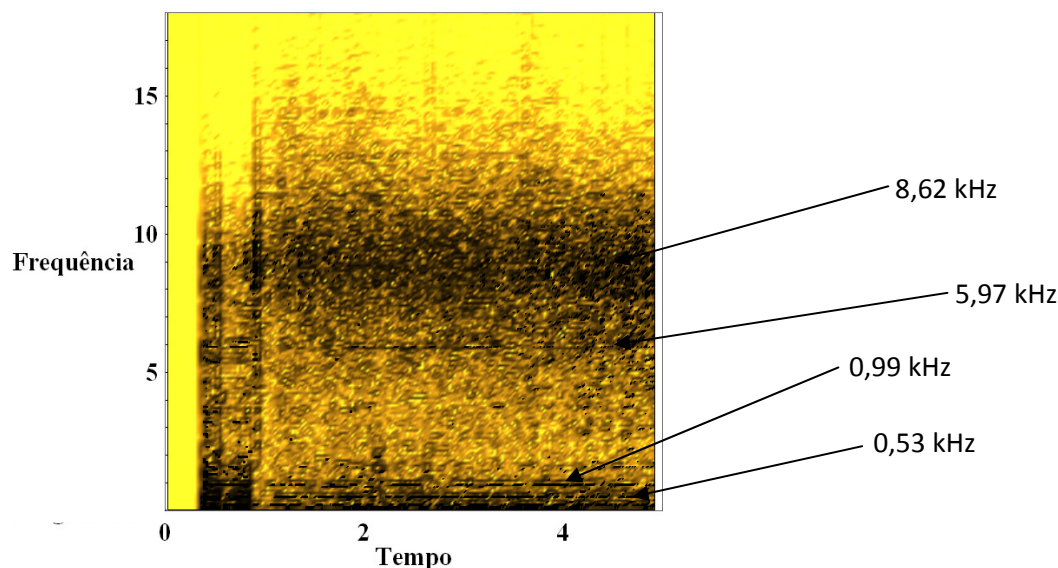


Figura 7 - Espectro do vazamento abrangendo toda a faixa de frequências obtidas.

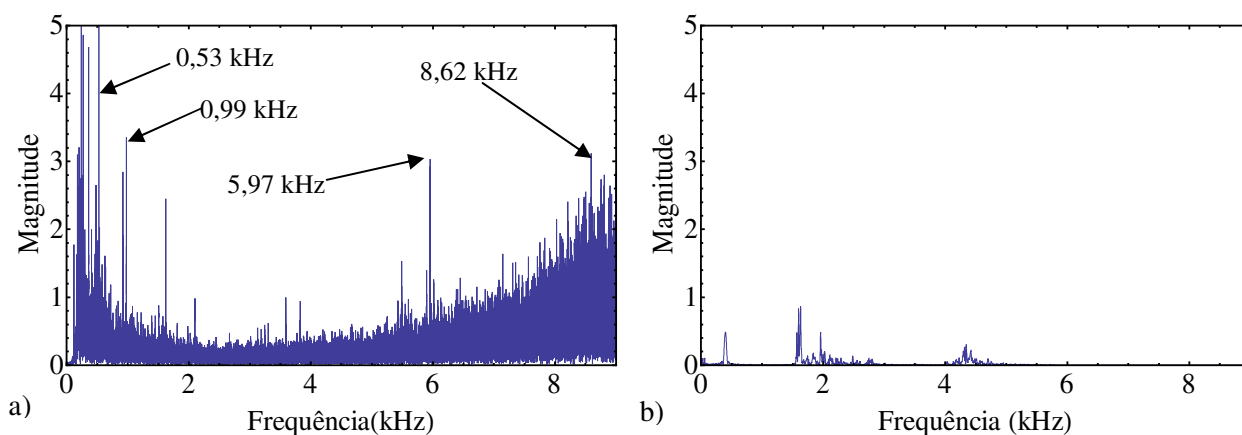


Figura 8 - a) Espectro do sinal de vazamento de água usando o microfone. b) Espectro do sinal da batida usando o microfone.

Com base nas análises anteriores, é possível perceber que apesar da presença de ruídos no sinal é plausível a diferenciação os casos de vazamento com os de não vazamento.

A diferença entre os resultados das frequências obtidas do acelerômetro e do microfone podem ter sido geradas devido ao princípio de funcionamento de cada um. Isso porque no caso do acelerômetro as ondas se propagam pelo aço do duto já no do microfone elas se difundem através do ar.

Conclusões

Este trabalho consistiu na utilização de dois tipos de sensores com os quais se captaram os sinais decorridos de uma situação de vazamento de água e, após a realização da análise espectral, desejava-se a obtenção de frequências características para esses casos.

Embora esse estudo encontre-se em fase inicial, os resultados já indicam que esses sensores conseguem distinguir situações de vazamento e não vazamento. Planeja-se, futuramente, estudar a reprodutibilidade das frequências observadas para situações com diferentes furos de vazamento e pressão de operação. Desta forma, será possível verificar se a utilização desses sensores é viável para a

monitoração de redes de dutos. É provável que haja a necessidade de se testarem sensores com uma sensibilidade maior para as regiões nas quais aparecem as frequências características de vazamentos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, e da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP, por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás PRH-34 ANP/MCT.

Referências Bibliográficas

ABDHULIMEN, K. E., SUSU, A. A., **Liquid pipeline leak detection system: model development and numerical simulation**. Chemical Engineering Journal 97, 47-67, 2004.

AZEVEDO, F. M., **Proposta de algoritmo para detecção de vazamentos em oleodutos utilizando análise frequencial de sinais de pressão**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

GARCIA, F. M., **Caracterização vibroacústica de vazamentos a partir de uma seção de duto para aplicações na indústria de petróleo e gás**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MACLEOD, I. D., ROWLEY, R., BEESLEY, M. J., OLLEY, P. **Acoustic monitoring techniques for structural integrity**. Nuclear Engineering and Design, v.129, p. 191-200, 1991.

REDDY, H. P.; NARASIMHAN S.; BHALLAMUDI, S. M.; BAIRAGI S.; **Leak detection in gas pipeline networks using an efficient state estimator. Part-I: theory and simulations**. Computers and Chemical Engineering, CACE-4135, 2010.