

# P250, Monitoramento de ativos através de sensoriamento por fibra óptica

João Roberto Costa Martins Filho<sup>1</sup>, Renandelon Gomes de Oliveira<sup>1</sup>, Rodrigo M. Bacurau<sup>2</sup>, Marcelo S. de Castro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Companhia de Gás de São Paulo – COMGÁS

<sup>2</sup>Univerisade Estadual de Campinas – UNICAMP, Centro de Estudos em Energia e Petróleo – CEPETRO

**Resumo** – A necessidade de garantir a segurança e a integridade das linhas de gás tem impulsionado o desenvolvimento de soluções empregando sensores de fibra óptica para o monitoramento de vazamentos. Tais vazamentos podem ser detectados através do monitoramento da temperatura e/ou vibração ao longo dos dutos, utilizando sensores distribuídos ou através de sensores de medição pontuais. Propôs-se nesse projeto a verificação experimental do potencial, desempenho e limitações das principais tecnologias ópticas para o monitoramento de vazamentos em linhas de gás áreas de baixa pressão (< 4 bar). Os resultados experimentais mostraram que é possível identificar vazamentos utilizando DTS desde que a tubulação esteja envolvida por algum material, como um conduíte ou tecido, e que a pressão da linha seja maior do que 0,4 bar. O DAS mostrou-se incapaz de identificar o início dos vazamentos, porém, é incapaz de identificá-los em regime. Os acelerômetros ópticos são capazes de identificar vazamentos e se mostraram a solução de menor custo.

**Palavras-chave:** *Distributed Acoustic Sensing; Distributed Temperature Sensing*; fibra óptica; grade de Bragg; identificação de vazamento.

## Introdução

No cenário da infraestrutura de gás, onde a segurança e a integridade são imperativos, os desafios de assegurar a confiabilidade e a segurança dessas linhas tem fomentado o desenvolvimento de soluções empregando sensores de fibra óptica para o monitoramento de vazamentos. A identificação de vazamentos em linhas de gás pode ser feita através do monitoramento da temperatura e/ou da vibração ao longo da tubulação, utilizando sensores distribuídos, baseados em espalhamento de Brillouin, Ramam, Rayleigh e/ou interferometria; ou de medição pontual utilizando sensores baseados em FBGs (*Fiber Bragg Gratings*) ou filtros de Fabry Pérot [1-5].

Apesar das tecnologias de sensores de fibra óptica estarem sendo utilizado em alguns sistemas pilotos de monitoramento de vazamentos em linhas de transmissão, ainda há incertezas acerca de quais técnicas e sensores são os mais adequados para essa aplicação, especificamente em linhas de distribuição de gás.

Nesse contexto, este projeto propôs a investigação experimental do potencial, desempenho, custo e restrições de algumas das principais tecnologias ópticas para o monitoramento de vazamentos em tubulações de gás; DAS (*Distributed Acoustic Sensing*) [1] e DTS (*Distributed Temperature Sensing*) [2], além de *strain gauges* baseados em FBG e acelerômetros ópticos baseados em filtros Fabry Perot.

Este projeto foi financiado por uma das maiores empresas de gás do Brasil – COMGÁS. Ele foca na análise de tecnologias para detecção de vazamentos em linhas de gás aéreas e subterrâneas, de polietileno (PE), de baixa pressão (até 4 bar), em cenário urbano.

## Desenvolvimento

Considerando-se as dificuldades e os riscos envolvidos na construção de uma linha de gás para avaliação de vazamentos em campo, propôs-se nesse projeto o estudo do vazamento em ambiente de laboratório, propiciado através da montagem de uma bancada experimental. Por segurança, ao invés

de gás natural foi utilizado ar comprimido, e com base em modelos teóricos, foi possível prever o comportamento dos vazamentos com gás natural.

A bancada consiste em 30 m de tubulação de polietileno (PE) com 32 mm de diâmetro, alimentada por ar, com pressão de 0,35 a 4 bar. A bancada é equipada com válvulas de acionamento elétrico para o controle de pressão e vazão, além de sensores de pressão manométrica, vazão de entrada e de saída da linha, temperatura e vibrações. Os vazamentos são simulados através da abertura de válvulas em locais específicos da tubulação. O arranjo final dos sensores e atuadores pneumáticos instalados é apresentado na Figura 1. Na figura também é indicada a sequência pelo qual o ar passa a partir da origem até ser liberado, começando em 1 na válvula proporcional de pressão depois para o primeiro Coriolis em 2, seguindo para os sensores de pressão manométricas e diferenciais, 3 e 4, respectivamente e então para a tubulação. Ao sair do circuito o gás volta e passa pelo segundo Coriolis em 5 e por fim passa pela válvula proporcional de vazão e escapa para o ambiente.



Figura 1 – Sensores e atuadores instalados na bancada experimental.

Uma interface LabVIEW (Figura 2) foi desenvolvida para controle e monitoramento da bancada experimental através de uma plataforma de aquisição de dados cDAQ da National Instruments. Assim, a bancada permite simular diversas condições da linha de gás com facilidade, repetibilidade e segurança, além de permitir a coleta de dados de referência da linha de gás durante o experimento com os sensores de fibra óptica.

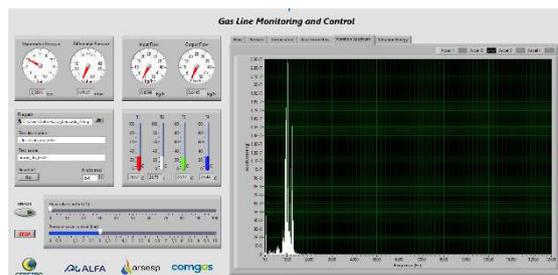


Figura 2 – Programa LabVIEW para controle e monitoramento da bancada experimental.

Foram realizados experimentos com vazamentos em furos de 2 mm de diâmetro, pressurizando a tubulação em 0,35, 1, 2 e 4 bar, utilizando os sensores distribuídos DAS e DTS e os pontuais FBG, *strain gauge* baseado em FBG e acelerômetro óptico baseado em filtros Fabry Pérot. Na Figura 3 é apresentado um ponto de vazamento monitorado pelo DTS através do cabo sensor de fibra óptica (cabo vermelho), sensor de temperatura de referência e *strain gauge* óptico.



Figura 3 – Detalhe de ponto de vazamento monitorado.

## Resultados

Em relação aos sensores distribuídos, concluiu-se que o DTS é capaz de identificar vazamentos de ar desde que a tubulação esteja pressurizada com pelo menos 0,4 bar e encoberta por algum material (tecido ou conduíte). Na Figura 4 é apresentado o resultado de um teste realizado com a tubulação pressurizada a 4.

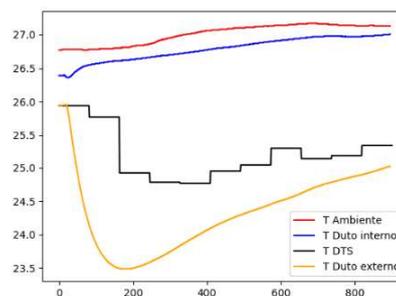
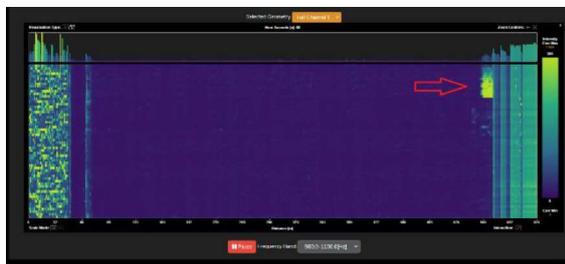


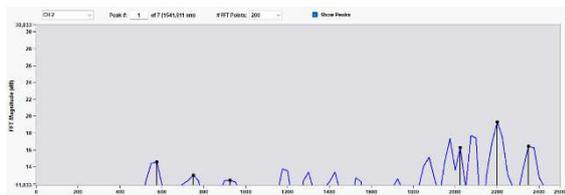
Figura 4 – Queda de temperatura observada em vazamento com tubulação pressurizada em 4 bar.

O DAS, apesar de não permitir a obtenção da vibração gerada durante os vazamentos, permitiu identificar as vibrações geradas no início do vazamento (transiente) para pressões acima de 1 bar, conforme exibido na Figura 5.



**Figura 5** – Gráfico *waterfall* indicando a vibração na extensão da linha no início de um vazamento.

Em relação aos sensores pontuais, concluiu-se que as FBGs nuas e os *strain gauges* não são capazes de identificar as vibrações geradas devido a vazamentos na linha de gás em qualquer uma das pressões de teste. Os acelerômetros baseados em filtro de Fabry Perot mostraram-se capazes de identificar vazamentos desde que a tubulação esteja pressurizada com pelo menos 2 bar, conforme ilustrado na Figura 6. O resultado dos experimentos com os sensores pontuais pode ser melhorado empregando-se acelerômetros ópticos com resposta em frequência mais elevada, como o Luna os7220, capaz de obter acelerações até 4 kHz sem atenuações.



**Figura 6** – Sinal no domínio da frequência captado pelo acelerômetro óptico os7510 durante um vazamento na linha de gás.

Nenhuma técnica mostrou-se capaz de identificar vazamentos em tubulações pressurizadas com 350 mbar.

## Conclusões

Este trabalho permitiu através da análise comparativa a identificação do potencial e limitações de várias técnicas e sensores de fibra óptica para identificação de vazamentos em linhas de gás. Todos os estudos previstos no projeto foram finalizados.

Destaca-se que o método de identificação de vazamentos em linhas de gás utilizando sensores pontuais (acelerômetros ópticos)

apresenta consideravelmente menor custo quando comparado com o utilizando o DTS e o DAS. Enquanto um aparelho DTS ou DAS custam de 80 a 200 mil dólares, um interrogador de FBG, de alta frequência, custa a partir de 15 mil dólares. Cada acelerômetro óptico, custa a partir de 1.500,00 dólares. Dessa forma, para monitoramento de vazamento em trechos críticos da linha de distribuição de gás em regiões urbanas, como em pontes, o uso de acelerômetros ópticos em conjunto com interrogadores de FBG se mostram a solução mais adequada.

Trabalhos futuros devem ser realizados para identificar qual é a distância mínima entre os sensores baseados em FBGs para que seja possível identificar os vazamentos, bem como, qual é a precisão na identificação do ponto do vazamento a partir da bilateração de sinais obtidos por dois acelerômetros ópticos.

Destaca-se que o grupo de pesquisa da UNICAMP, vem trabalhando no desenvolvimento de novas técnicas e equipamentos para a interrogação de FBGs com menor custo. Também estão sendo desenvolvidos, junto com parceiros de outras instituições brasileiras, acelerômetros baseados em FBGs que podem ser utilizados para a identificação de vazamentos em linhas de gás. Dessa forma, há potencial de se criar, em projetos futuros, tecnologias nacionais de baixo custo que permitam a identificação de vazamento de gás com sensores em fibra óptica.

Esse trabalho é uma ação importante para assegurar maior segurança no transporte e distribuição de gás natural e reduzir os custos operacionais e para os consumidores devido às perdas de gás.

## Referências

- [1] He, Z.; Liu, Q. Optical Fiber Distributed Acoustic Sensors: A Review. *Journal of Lightwave Technology*, v. 39, no. 12, pp. 3671-3686, 2021.
- [2] Mishra, A. et al. Pipeline leakage detection using fiber optics distributed temperature sensing DTS, in Abu Dhabi International Petroleum Exhibition Conference, 2017.
- [3] Miah, K.; Potter, D.K. A Review of Hybrid Fiber-Optic Distributed Simultaneous Vibration and Temperature Sensing Technology and Its Geophysical Applications. *Sensors* 2017.
- [4] Motil Bergman A, T. M. A. State of the art of brillouin fiber-optic distributed sensing. *Opt Laser Technol*, v. 103, pp. 78:81, 2016.
- [5] Mulugeta, J. S. C. F. Fibre optic methods of prospecting: A comprehensive and modern branch of geophysics. *Surveys in Geophysics*, 2021.