



## IBP37604 SENSOR A FIBRA ÓTICA PARA DETECÇÃO DE HIDROCARBONETOS EM OLEODUTOS

Francelli Klemba<sup>1</sup>, Ricardo Canute Kamikawachi<sup>1</sup>, Márcia Müller<sup>1</sup>, Hypolito José Kalinowski<sup>1</sup>, José Luis Fabris<sup>1</sup>

Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

### Resumo

Neste trabalho descrevemos a utilização de redes de período longo em fibras óticas como dispositivo sensor na detecção de hidrocarbonetos que fluem em oleodutos. Nos experimentos foram utilizadas amostras de álcool, gasolina, aguarrás, tiner, querosene e diesel. Devido aos diferentes índices de refração destas substâncias ocorreu um deslocamento no comprimento de onda do vale de atenuação da rede, que inicialmente no ar era de 1544 nm, permitindo então a construção e calibração de um dispositivo sensor. O tempo máximo de resposta do sensor foi de 3 segundos para as diferentes amostras utilizadas. As redes de período longo foram produzidas através da técnica de arco elétrico com o auxílio de uma máquina de emendas de fibra ótica.

### Abstract

In this work we describe the use of long period gratings in optical fibers as a sensor device in the detection of hydrocarbons that flow in pipelines. In the experiments samples of alcohol, gasoline, turpentine, thinner, kerosene and diesel were used. Due to the different refractive index of these substances there was a shift in the wavelength of the attenuation peak of the grating, which initially in the air was 1544 nm, allowing the construction and calibration of a sensor device. The response time of the sensor was 3 seconds for the different samples used. The long period grating was produced through the technique of electric arc discharge with the aid of a fusion splicer machine.

### 1. Introdução

Em processos industriais a utilização de sensores é de grande importância para o acompanhamento das diversas etapas da produção. Particularmente no setor de petróleo, é desejável que estes sensores não produzam faíscas elétricas, que poderiam levar a acidentes com substâncias inflamáveis ou explosivas. Além de apresentar esta característica de passividade elétrica, os sensores a fibra ótica possuem baixa reatividade química e possibilidade de monitoramento em tempo real.

As redes de período longo (LPG) são dispositivos intrínsecos a fibra ótica, que podem ser usadas como sensor de tensão, de temperatura e de índice de refração (Patrick, *et al*, 1996 e 1997). As LPG têm sua operação fundamentada no acoplamento entre o modo propagante de núcleo e modos co-propagantes de casca. Os comprimentos de onda de ressonância das LPG são dados pela condição de casamento de fase (Meltz, *et al*, 1989):

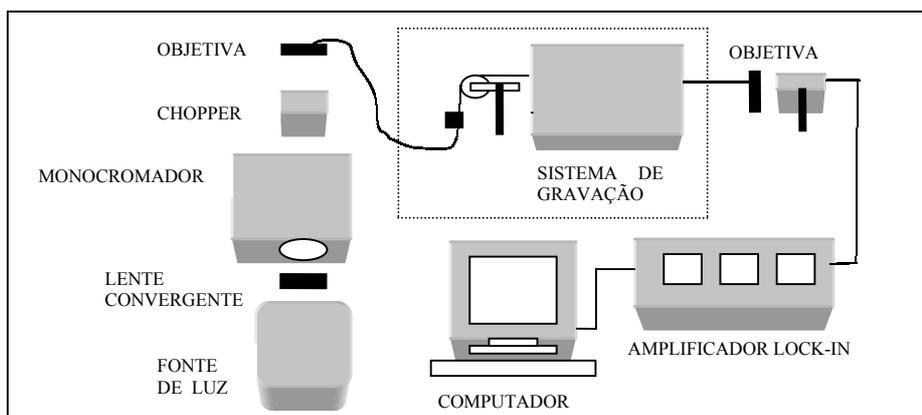
$$\lambda_m = (n_{co} - n_{cl}^m) \Lambda \quad (1)$$

onde  $\lambda_m$  é o comprimento de onda central do  $m$ -ésimo modo de casca, para o qual a luz foi acoplada,  $n_{co}$  é o índice de refração efetivo do modo de núcleo,  $n_{cl}^m$  é o índice de refração efetivo do  $m$ -ésimo modo de casca e  $\Lambda$  é o período da rede. A potência ótica que se propaga nos modos de casca decai rapidamente devido às imperfeições da fibra, ou curvaturas, deixando no espectro de transmissão vales de atenuação centrados no comprimento de onda dado pela Equação (1). O índice de refração efetivo do modo de casca depende do índice de refração do meio circunvizinho, do núcleo e da casca. Uma mudança no meio externo implica em alterar o termo  $n_{cl}^m$  na Equação (1), alterando a condição de casamento de fase e ocasionando deslocamentos em comprimentos de onda dos vales existentes no espectro de transmissão. A identificação dos diversos deslocamentos de  $\lambda_m$  para variações conhecidas de índices de refração do meio externo permitem então a construção e calibração de um dispositivo sensor.

<sup>1</sup> CEFET-PR Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná  
Av. Sete de Setembro, 3165 CEP 80230-901 Curitiba - Pr

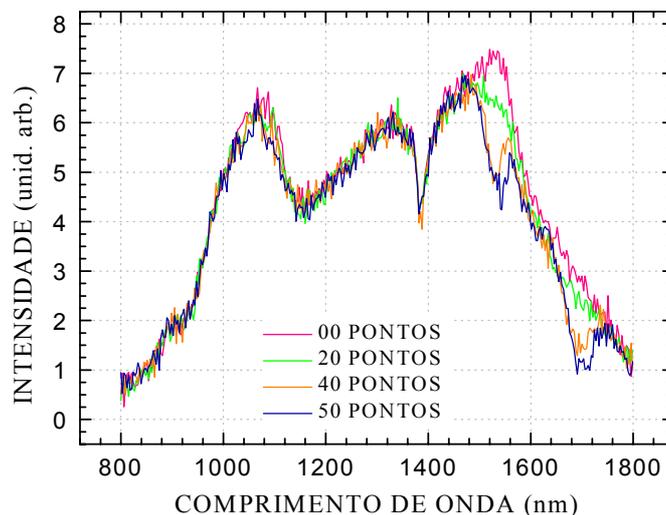
## 2. Leitura e Gravação de Redes de Período Longo

A figura 1 mostra o sistema de leitura e gravação de redes de período longo em fibra ótica. O sistema de leitura utiliza uma lâmpada halógena de 50W, cuja luz é acoplada a um monocromador através de uma lente convergente. Ao atravessar o monocromador, a luz é modulada por um *chopper* e é focalizada por uma lente objetiva em uma fibra ótica. A luz transmitida pela fibra é focalizada por outra lente objetiva em um detector de InGaAs e o sinal é processado por um amplificador *lock-in*. Todo este sistema é controlado por computador.



**Figura 1:** Diagrama esquemático do sistema de leitura e gravação das LPG.

As redes foram produzidas no Laboratório de Laser do CEFET-PR, usando um método para a gravação similar ao descrito por Rego *et al* com algumas modificações. A fibra é inserida entre os eletrodos de uma máquina de emendas de fibras óticas. Uma das extremidades da fibra passa por uma roldana, e uma massa é presa a esta para mantê-la sob tensão longitudinal constante. A outra extremidade é fixada em um estágio de translação de precisão controlado por computador. Um arco elétrico de corrente de 12 mA e duração temporal de 0,5s é então aplicado, em seguida a fibra é deslocada por um comprimento igual ao período da rede e um novo arco é aplicado. Este procedimento é então repetido várias vezes gerando a alteração periódica no índice de refração da fibra que caracteriza a LPG.



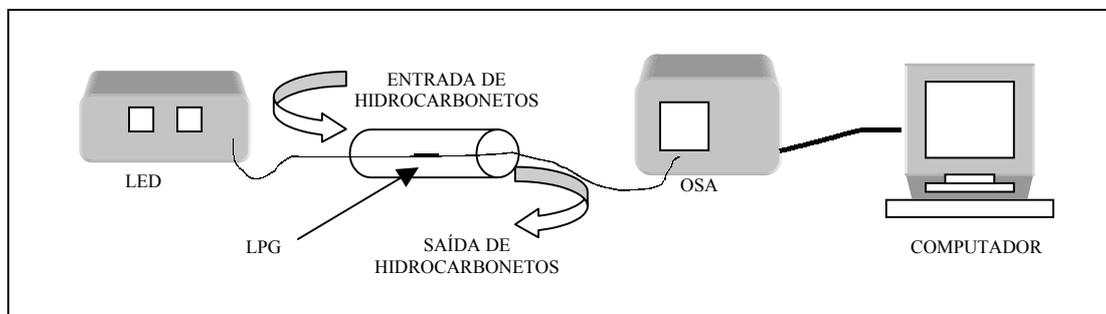
**Figura 2:** Espectros de transmissão da fibra durante o processo de gravação.

Na figura 2 é apresentado o espectro de transmissão da fibra quando posicionada no sistema e durante a formação da rede após 20, 40 e 50 pontos de interação. Esse acompanhamento do processo de formação da rede permite que a escrita seja realizada até que se tenha uma rede com máxima eficiência de acoplamento, facilitando assim a leitura do sensor.

Nos experimentos a rede utilizada após a gravação de 50 pontos de interação, possui comprimento de onda do vale de atenuação no ar de 1544nm, e período de 595  $\mu\text{m}$ .

### 3. Caracterização das Redes de Período Longo

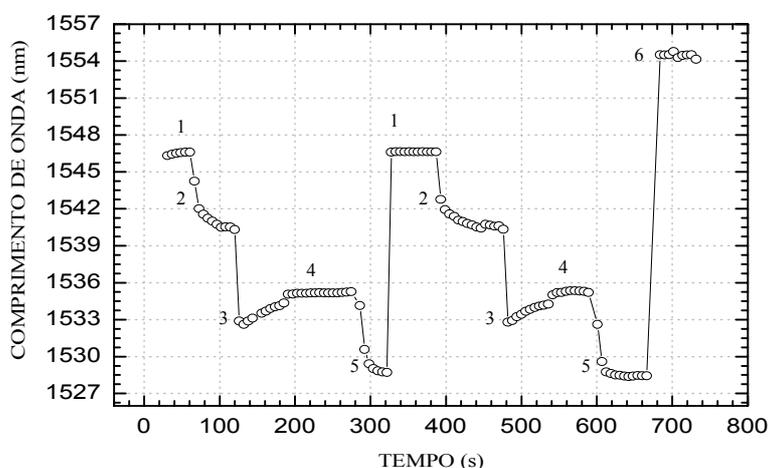
Para demonstrar a possibilidade da identificação de hidrocarbonetos fluído em um duto, a LPG foi posicionada no interior de um tubo de PVC através do qual é provida a passagem controlada do fluído sob análise, como indicado na figura 3. Como as LPG são sensíveis a outros parâmetros externos como curvaturas e temperatura (Vengsarkar, *et al*), a rede foi colada na parede interna do tubo e a temperatura foi monitorada, mantendo-se na faixa de  $19,5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 3:** Sistema utilizado para caracterização da rede como elemento sensor.

Uma das extremidades da fibra contendo a rede foi conectada a um LED superluminescente que opera na faixa de 1445 nm a 1645 nm, utilizado como fonte de luz. A outra extremidade da fibra foi conectada a um analisador de espectros óticos (OSA - *Optical Spectrum Analyzer*) modelo Anritsu MS9710B, operando com resolução de 0,1 nm, utilizado para analisar a resposta do sistema. Os dados coletados são enviados a um computador, e analisados por um programa em *Labview* que mostra os resultados no monitor na forma de gráfico.

Nos experimentos foram utilizadas amostras de álcool, gasolina, aguarrás, tiner, querosene e diesel, e os resultados são apresentados na figura 4.



**Figura 4:** Posição do vale de atenuação da rede quando inseridas as amostras (1 - álcool, 2 - gasolina, 3 - aguarrás, 4 - tiner, 5 - querosene, 6 - diesel).

O comprimento de onda do vale de atenuação da rede utilizada (1544 nm no ar) desloca-se quando a rede entra em contato com a amostra de hidrocarbonetos, sendo que o valor e sentido do deslocamento observado dependem do índice de refração da amostra. A detecção das alterações no comprimento de onda de ressonância ocorrem no tempo de aproximadamente 3 segundos após a rede ter entrado em contato com o fluído. Esse tempo de resposta do sensor é limitado principalmente pela capacidade de processamento do sistema experimental. Quando se inicia um novo ciclo, os comprimentos de onda do vale de atenuação assumem valores aproximadamente iguais aos anteriores evidenciando a confiabilidade do sensor. A grande sensibilidade da rede a alterações de índice resulta em deslocamentos desde 1528,35 nm (para o querosene) até 1554,87 nm (para o diesel). Estes valores de deslocamento são facilmente detectados pelo sistema experimental, o que mostra a viabilidade da técnica apresentada para a identificação dos hidrocarbonetos no interior do duto.

Com os valores conhecidos dos índices de refração das substâncias é possível fazer uma calibração prévia do sensor, o que possibilita a identificação do hidrocarboneto que flui no duto em determinado instante.

#### 4. Conclusão

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que o sensor baseado em redes de período longo pode ser utilizado para identificar o tipo de hidrocarboneto presente no fluxo em oleodutos, devido à variação do índice de refração do meio externo à fibra. Variações de temperatura que podem ocorrer durante o monitoramento do fluxo provocam deslocamentos no comprimento de onda do vale de atenuação da LPG que podem ser compensados por meio da utilização de uma rede de Bragg como proposto em Kamikawachi *et al.* A versatilidade dos sensores a fibra permitem que um único enlace possa conter uma ou mais redes o que possibilita o monitoramento de um ou mais pontos do sistema de dutos. A flexibilidade mecânica da fibra permite ainda que o enlace seja posicionado fora da tubulação e apenas nos pontos de interesse a fibra esteja inserida no duto, facilitando o processo de manutenção. É possível ainda melhorar o desempenho do sensor a partir do desenvolvimento de um sistema de gravação que produza LPG com menor largura de banda, possibilitando uma detecção mais precisa da variação do comprimento de onda com relação às mudanças externas. Um sistema de sensoriamento à fibra ótica possui a versatilidade de poder ser controlado em tempo real, sem a necessidade de que uma pessoa se desloque até o local de medida.

#### 5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Agência Nacional do Petróleo.

#### 6. Referências

- KAMIKAWACHI, R. C., POSSETTI, G. R. C., MÜLLER, M. FABRIS, J.L. Optical Sensor Based on fiber grating for Hydrocarbon Detection in aquatic Environment. *XXVII Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada*. v. 6, 2004.
- MELTZ, G., MOOREY, W. W., GLENN, W. H. Formation of Bragg gratings in optical fiber by transverse holographic method. *Optical Letters*, v. 14, p. 823-825, 1989.
- PATRICK, H. J., KERSEY, A. D., BUCHOLTZ, M. K., EWING, K. J., JUDKINS, J. B., VENGSARKAR, A.M. Chemical Sensor Based on Long Period Fiber Grating Response to Index of refraction. *OSA Technical Digest Series*, v. 11, 420-421, 1997.
- PATRICK, H. J., WILLIAMS, G. M., KERSEY, A. D., PEDRAZZANI, J. R., VENGSARKAR, A.M. Hybrid Fiber Bragg Grating / Long Period Fiber Grating Sensor for Strain / Temperature Discrimination. *IEEE Photonics Technology Letters*. v. 8, 1223- 1225, 1996.
- REGO, G., OKHOTNIKOV, O., DIANOV, E., SULIMOV, V. High-Temperature Stability of Long-Period Fiber Grating Produced Using an Electric Arc. *J. Lightwave Technol.* V. 19, 1574-1579, 2001.
- VENGSARKAR, A. M., LEMAIRE, P. J., JUDKINS, J. B., BHATIA, V., ERDOGAN, T., SIPE, J.E. Long-Period Fiber Gratings as Band-Rejection Filters, *J. Lightwave Technol.* V.14, 58-65, 1996.