Grupo de Estudo de Geração Térmica-GGT

Desenvolvimento e teste de campo de sensores ópticos de pressão e fluxo mássico para uso em gerenciamento eletrônico de injeção de óleo combustível em motores de combustão utilizados pela EPASA

JOAO BATISTA ROSOLEM(1); RIVAEL STROBEL PENZE(2); DELEON VASCONCELOS DA SILVA(3); MARCELO AGRA RAMOS JUNIOR(3); FABIO RENATO BASSAN(4); CLAUDIO FLORIDIA(5); WAGNER FRANCISCO REZENDE CANO(6); RODRIGO PERES(7); DANILO CESAR DINI(8); EDUARDO FERREIRA DA COSTA(9);
CPQD(1);CPQD(2);Epasa(3);CPQD(4);CPQD(5);CPQD(6);CPQD(7);CPQD(8);CPQD(9

RESUMO
Este trabalho descreve o desenvolvimento, os testes de laboratório e de campo de sensores ópticos de pressão e fluxo mássico para sistema de gerenciamento eletrônico de injeção de óleo combustível em motores de combustão interna. O desenvolvimento destes sensores torna-se importante na medida em que possibilitará, quando usado em conjunto com o sistema gerenciamento eletrônico, significativa otimização operacional através da redução de custos e ajustes de geração em regime parcial de carga, bem como na redução da quantidade e melhoria na qualidade das emissões. O desenvolvimento deste sistema para a EPASA está sendo realizado através de um P&D ANEEL.

PALAVRAS-CHAVE

Termoelétrica, Motores, Pressão, Fluxo mássico, Sensor FBG

1.0 - INTRODUÇÃO

A EPASA (Centrais Elétricas da Paraíba S.A) é uma concessionária de geração de energia elétrica a partir de fonte térmica com potência instalada de 340 MW, obtida a partir de 40 motores modelo MAN 3240 que utilizam como combustível o óleo OCB1. Esta usina foi concebida dentro das normas do programa emergencial de energia do governo federal, ou seja, é solicitada a gerar somente quando a geração de energia oriunda de outras fontes estiver comprometida. As usinas construídas dentro do Programa Emergencial de Energia do Governo Federal, por suas funções e não podem prescindir de fatores externos que comprometam a geração. Estas usinas são, planejadas para funcionarem basicamente com combustível fóssil, cujos contratos asseguram o fornecimento. A desvantagem dessa geração fica por conta do elevado custo operacional dos motores e da existência de emissões oriundas da queima de combustível fóssil. Atualmente o controle da injeção de óleo combustível nesses motores é totalmente mecânico, reduzindo as possibilidades de ajustes no volume de combustível injetado e, na mesma proporção, limitando as possibilidades de se realizar melhor gerenciamento dos motores. O desenvolvimento de sensores ópticos de pressão e fluxo mássico proposto neste trabalho, quando usados com um sistema gerenciamento eletrônico de injeção de óleo combustível, possibilitará significativa otimização operacional, através da redução de custos e ajustes de geração em regime parcial de carga, bem como redução na quantidade e melhoria na qualidade das emissões (1), (2). Os sensores de fibra óptica apresentam características intrínsecas ideais por serem imunes aos elevados níveis de EMI, resistentes a ambientes corrosivos, quando adequadamente tratados e serem totalmente passivos não necessitando de alimentação local. Os sensores desenvolvidos serão integrados a um sistema inteligente de análise de dados, cuja descrição não é o foco deste trabalho, que possuirá atuadores em tempo real que ajustará grandezas como a pressão, o volume e o momento da injeção de combustível, permitindo o seu melhor aproveitamento e, desta forma, melhorando o rendimento dos motores e diminuindo a emissão de poluentes.
Os sensores utilizados para medir pressão e fluxo mássico utilizam a tecnologia FBG (fiber Bragg grating), bem conhecida em aplicações de engenharia devido às suas características e disponibilidade flexíveis (3). As fibras com FBG são fibras ópticas especiais que apresentam em seu núcleo uma modulação periódica do índice de refração.

(*) R. Dr. Ricardo Benetton Martins, 1.000 – Parque II do Polo de Alta Tecnologia, CEP 13086-902, Campinas, SP – Brasil, Tel: (+55 19) 3705-6796 – E-mail: rosolem@cpqd.com.br

Estas fibras são amplamente utilizadas para medição de diversos parâmetros como: deformação, temperatura, pressão, tensão mecânica, corrente elétrica, campo elétrico, vibração, pressão e outros. Este trabalho descreverá o desenvolvimento dos sensores ópticos, o subsistema de monitoração óptica e os testes em campo dos sensores de pressão realizados na EPASA, nos motores modelo MAN 3240. Cada motor possui 18 cilindros com controle de injeção de óleo combustível totalmente mecânico, reduzindo a possibilidade de ajustes no volume de combustível injetado e limitando as possibilidades de melhor gerenciamento do mesmo (1), (2).
O desenvolvimento deste sistema para a EPASA está sendo realizado através de um P&D ANEEL PD-7236-0003/2016.

2.0 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA FBG E SUBSISTEMA DE MONITORAÇÃO ÓPTICA

As FBGs são projetadas com espaçamentos periódicos Λ, para refletir os comprimentos de onda em torno de um determinado λ_o definido para a temperatura de 25°C (3). A Figura 1(a) ilustra o mecanismo de funcionamento de uma fibra com grade de Bragg sobre um feixe contendo várias componentes espectrais. A variação deste período da grade devido à atuação de um fenômeno externo (pressão, temperatura, etc.) acarreta um deslocamento equivalente em comprimento de onda (λ), que deve ser detectado por um sistema de monitoração óptico apropriado. A variação do período pode se dar por tração da fibra ou por compressão (4), (5), (6). Este último efeito foi utilizado para desenvolver o sensor de pressão.
No presente projeto o subsistema de monitoração óptica requer tempos de resposta rápidos, da ordem de dezenas de kHz. Sua arquitetura é apresentada na Figura 1(b). Este subsistema disponibiliza informações de pressão e fluxo mássico a uma unidade de controle eletrônica (ECU) que é responsável por analisar os dados e atuar em tempo real da injeção. A ECU atuará em cada ciclo de combustão de cada um dos cilindros do motor, dosando com precisão a quantidade de combustível, permitindo não apenas o controle preciso da combustão, mas também a flexibilidade de operação, melhorando desempenho do motor e reduzindo a emissão de poluentes.
O subsistema de monitoração óptica é composto basicamente do interrogador (fonte de alimentação, fonte de luz, filtro sintonizável, atenuador de potência, circuladores e splitters) e sensores ópticos de pressão e fluxo mássico.
Neste artigo são apresentados os resultados referentes ao subsistema de monitoração óptica. A transdução da variação do comprimento de onda da FBG para valores de amplitude é feita através da excursão da FBG sobre o efeito externo em cima da borda espectral do filtro óptico. Neste caso atuando na borda direita do filtro se o efeito da grade for de compressão então o sinal de saída não será invertido. Caso a FBG atue no lado esquerdo do filtro o sinal de saída será invertido.

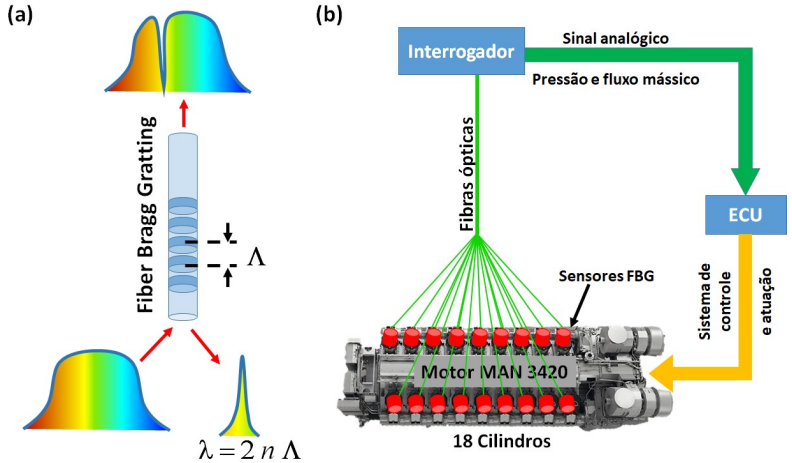

Figura 1 - (a) Funcionamento de uma FBG, (b) Visão geral do sistema de monitoramento de pressão e fluxo mássico

3.0 - SENSOR ÓPTICO DE PRESSÃO

Nesta seção será apresentado o sensor óptico de pressão desenvolvido e os resultados laboratoriais e de campo. Várias concepções de sensores foram testadas durante o projeto e para cada concepção ocorreram testes de laboratório e testes de campo. A Figura 2 apresenta a concepção mais recente do sensor óptico de pressão, onde, uma fibra óptica com FBG com revestimento de poliamida (Figura 2 à esquerda) é inserida no interior de um capilar de inox (Figura 2 à direita). Neste artigo será descrita esta concepção.
A alta temperatura proveniente da câmara de combustão e a alta complexidade em fixar a FBG ao sistema mecânico de modo a manter a estanqueidade foram os motivadores que direcionaram a solução para a utilização de um capilar para reduzir essa temperatura até um limite que permite utilizar uma gama de materiais que permitem tal fixação. O material de fixação e selamento da fibra óptica encontra-se a cerca de 100 cm do ponto de medição de pressão onde a temperatura medida é superior a 400°C. Na região de selamento a temperatura é inferior a 200°C. A região ativa da FBG pode se encontrar em maior proximidade da câmara, dentro do tubo capilar, conforme indicado na Tabela 1. Para garantir a estanqueidade do sensor foi utilizada uma cola epóxi capaz de operar à temperatura máxima de 250°C sobre a fibra óptica na região de selamento. Apesar do alto ponto de fusão da fibra óptica (1.200 °C) o fator limitante do uso está no revestimento da fibra óptica. Os sensores desenvolvidos no projeto utilizam revestimento da fibra óptica com poliamida que suporta temperatura de até 300 °C (7).

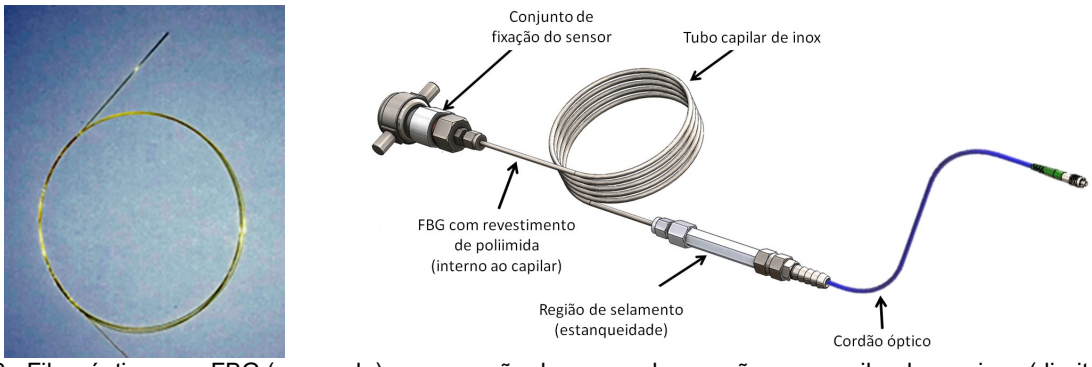

Figura 2 - Fibra óptica com FBG (esquerda) e concepção do sensor de pressão com capilar de aço inox (direita).

Para o teste em campo, quatro tipos de sensores de pressão foram projetados, conforme as características mostradas na Tabela 1, essas variações estão relacionadas basicamente à posição da FBG dentro do capilar em relação ao ponto de tomada de pressão e ao diâmetro interno do capilar utilizado.

Tabela 1 - Sensores ópticos de pressão

Identificação	Sensor 01	Sensor 02	Sensor 03	Sensor 04
Comprimento de onda (25ºC)	1528.292 nm	1528.212 nm	1528.065 nm	1528.287 nm
Tamanho do capilar	100 cm			
Posição da FBG em relação ao ponto de conexão mecânica do sensor	0 cm	20 cm	0 cm	20 cm
Tipo de capilar	Tubo em Aço inoxidável 316/316L, Sem Costura, Conforme Norma ASTM A269, Mínimo, Diâmetro: 1/8" OD x 0,028" (0.71mm) de parede, Pressão Máxima de trabalho 586 bar.		Tubo em Aço inoxidável 316/316L, Sem Costura, Conforme Norma ASTM A269, Mínimo, Diâmetro: 1/16" OD x 0,020" (0.51mm) de parede, Pressão Máxima de trabalho 827 bar.	
Revestimento da fibra óptica	Poliamida			

Uma vez montados os sensores estes foram testados para avaliar a estanqueidade e caracterizados em laboratório antes do teste em campo.

3.1 Testes e caracterização do sensor de pressão em laboratório

Os testes laboratoriais iniciais realizados tiveram como objetivo avaliar a estanqueidade e repetibilidade do sensor, além de caracterizá-lo. Para atingir tais objetivos utilizou-se um gerador de pressão estática da WIKA modelo CPP-700-H que gera pressões estáticas de até 700 bar, conforme mostrado na Figura 3. Os sensores de pressão FBG foram testados usando interrogador composto por um EDFA (erbium doped fiber amplifier) com uma fonte óptica, um circulador e um analisador de espectro óptico da Anritsu modelo MS9740A.

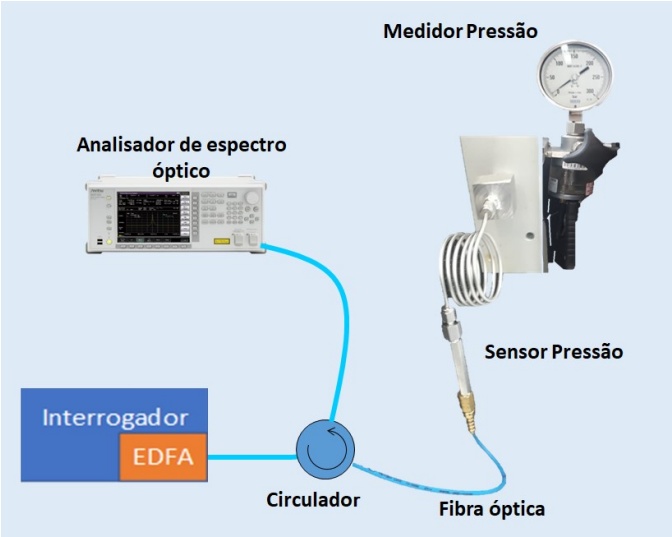

Figura 3 - Arranjo experimental para verificação da estanqueidade e repetibilidade do sensor de pressão.

A Figura 4 apresenta a curva da caracterização do sensor de pressão S01 que foi realizada utilizando-se o arranjo apresentado na Figura 3. Dois ciclos de pressão foram efetuados com passos de 25 bar aumentando a pressão de 0 a 300 bar e retornando a 0 bar. O deslocamento de comprimento de onda, expresso em picometros (pm) é

indicado na Figura 4 em função da pressão em bar. Para 300 bar, obtém-se cerca de 127 pm de deslocamento de comprimento de onda. O coeficiente linear obtido para este sensor é de 0,42295 pm/bar. O mesmo comportamento ocorre para os demais sensores com coeficientes de 0,42336; 0,40909 e 0,42254 pm/bar respectivamente para os sensores S02, S03 e S04. Além da repetibilidade nos ciclos de pressão e ausência de histerese, observamos uma grande reprodutibilidade construtiva entre os diversos sensores montados.

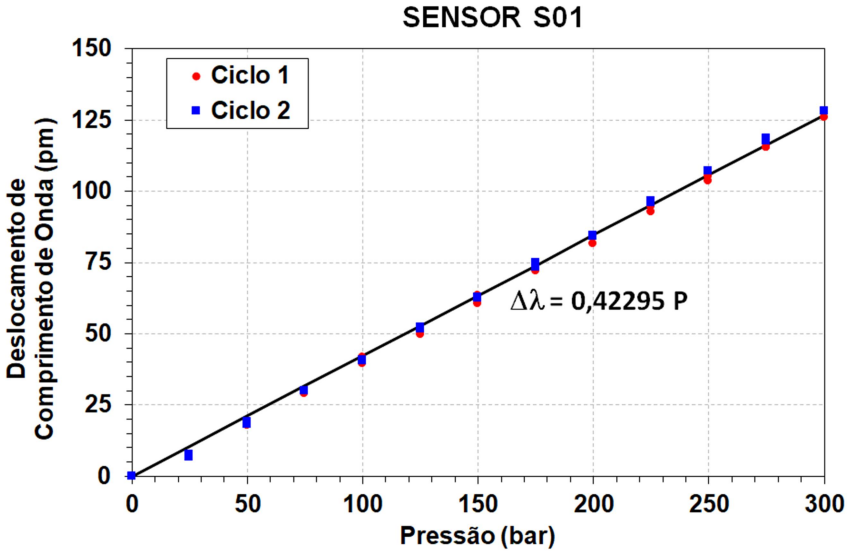

Figura 4 - Curva de calibração do sensor S01. Demais sensores com comportamento similar.

3.2 Teste de campo do sensor de pressão

O teste de campo foi realizado na termoelétrica da EPASA, cuja vista externa é mostrada na Figura 5(a). Esta termoelétrica possui 40 motores modelo MAN 3240 (Figura 5(b)), que usa óleo combustível e possui uma potência instalada de 340 MW.

O interrogador juntamente com os sensores de pressão FBG foram desenvolvidos para serem capazes de fornecer informações de pressão em uma escala de 0 a 5 V, sendo o fundo de escala correspondente a um pico de pressão de 300 bar. Na Figura 5(c) apresentamos o sistema de interrogação montado de forma provisória na sala de operação. O sensor foi inicialmente montado no ponto de monitoramento na parte inferior do motor usando uma tubulação de ~60cm até uma válvula de fechamento onde o sensor era fixado (Figura 5(d)).

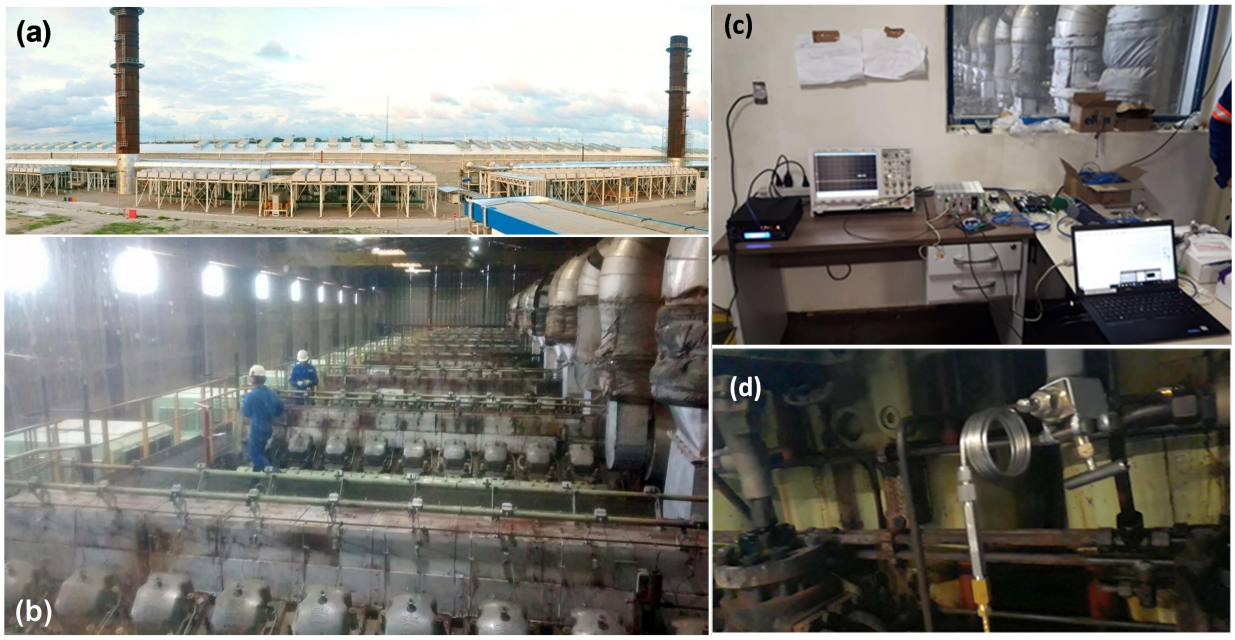

Figura 5 - (a) Vista externa da usina termoelétrica EPASA, (b) vista interna mostrando os motores MAN 3240, (c) vista da sala de operação e do sistema de interrogação e (d) ponto de monitoramento onde o sensor foi testado.

3.3 Resultados obtidos

Os testes em campo para esta versão do sensor de pressão ocorreram no período de 26 a 30 de novembro de 2018. Foram testados os quatro sensores ópticos e um sensor óptico comercial da empresa Optrand (9). Os resultados das medições foram comparados com o medidor comercial da MaxPrime utilizado pela equipe da

EPASA para medir a pressão em cada cilindro do motor e com o sensor comercial da Optrand. Duas formas de aquisição de dados para o sensor desenvolvido foram utilizadas nos testes de campo, a saber: a medição direta com um interrogador de FBG comercial da MicronOptics modelo si155, limitado a 100 Hz de taxa de aquisição para 80 nm de banda óptica, resultando em pouca resolução temporal e a medição por meio do interrogador desenvolvido no projeto.

O interrogador comercial si155 foi também utilizado para os ajustes dos filtros ópticos utilizados com o interrogador desenvolvido no projeto. A Figura 6, apresenta os resultados típicos obtidos para um dos sensores ópticos (S02). Na Figura 6(a) apresentamos a comparação entre a resposta do interrogador si155 e do interrogador desenvolvido, convertido para tensão. Nota-se a pior resolução temporal do interrogador comercial, neste caso. Neste ambiente foi observado que o sensor S01 se deteriorou em 14 minutos em função da elevada temperatura proveniente da câmara de combustão e da proximidade da FBG ao ponto de tomada de pressão (ponto auxiliar de tomada de pressão). Um segundo sensor S04 com a FBG a 20 cm do ponto de medição foi inserido. Pelo uso de capilar mais fino e maior distância do ponto de calor esperava-se que este sensor resistisse por tempo maior, mas este também se deteriorou em poucos minutos. Uma inspeção posterior mostrou que a fibra se tornou quebradiça devido a deterioração do revestimento de poliamida (temperatura máxima 300°C) e se rompeu onde estava inscrita a FBG, em ambos os sensores.

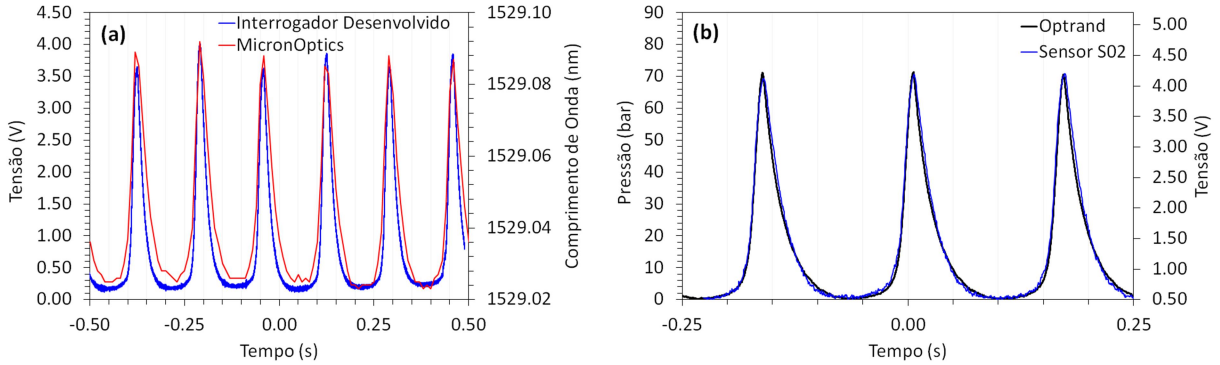

Figura 6 - Resultados da medição em campo dos sensores ópticos de pressão.

Para uso dos demais sensores foi utilizado um capilar adicional de 100 cm, introduzindo um fator a mais de dissipação térmica. Com este comprimento adicional de capilar foi melhorado o problema da dissipação térmica, mas este novo capilar causou alargamentos temporais nas curvas obtidas conforme apresentado a seguir. Na Figura **6**(b) apresentamos a comparação entre a resposta do sensor comercial da Optrand, tomado como referência, com o sensor S02, com capilar adicional. É possível notar que o sensor óptico desenvolvido responde bem às variações de pressão provenientes da câmara de combustão e reproduz de forma praticamente idêntica a resposta do sensor comercial neste ponto. Vale ressaltar que o sensor S02 permaneceu coletando dados por 24 horas de forma estável. Observa-se também, na Figura 6(b), que mesmo o sensor comercial da Optrand apresentou baixa pressão de pico (~70 bar) e resposta temporal distorcida, fato atribuído ao uso de uma extensão de cerca de 60 cm do ponto de monitoração e ao tipo de válvula empregada.

Os sensores foram também testados no ponto de monitoração de pressão do motor (popularmente conhecido como rubinete). Este ponto é ocasionalmente utilizado pela termoelétrica para verificação da pressão do motor. Neste caso é usado o equipamento comercial MaxPrime. Uma peça mecânica foi confeccionada e adaptada para realizar a medição neste ponto. A Figura 7(a) apresenta a comparação dos resultados do sensor comercial da Optrand com e sem capilar instalados no novo ponto de monitoração com a leitura do medidor de pressão MaxPrime. É possível observar uma similaridade do sinal do sensor da Optrand sem capilar com o sensor de referência da MaxPrime. Os níveis de pico de pressão estão bem próximos. Já a Figura 7(b) apresenta a comparação dos resultados do sensor comercial da Optrand sem capilar com o sensor óptico desenvolvido no projeto, ambos instalados no ponto principal de monitoração de pressão. Note que com a inserção de um capilar de aproximadamente 1 metro insere uma distorção no sinal. O sensor óptico desenvolvido apresentou sinal equivalente aos demais, entretanto não foi possível identificar o ponto de abertura da válvula de escape de pressão que pode ser visualizado no sinal tanto do sensor da Optrand como no sensor MaxPrime. Deve se frisar que no sinal do sensor é de fundamental importância a observação do início de injeção de combustível e da ignição de cada cilindro do motor.

No sensor desenvolvido, o uso do capilar se fez necessário devido aos valores de temperatura elevadas no ponto de medição.

Na próxima etapa de melhoria do sensor será utilizado uma fibra FBG metalizada com ouro com comprimento de cerca de 1,5 m de comprimento, capaz de operar até 1000°C. Esta melhoria possibilitará o uso do sensor próximo do ponto de medição de pressão sem distorção da curva de pressão e garantindo a robustez total no comprimento da fibra.

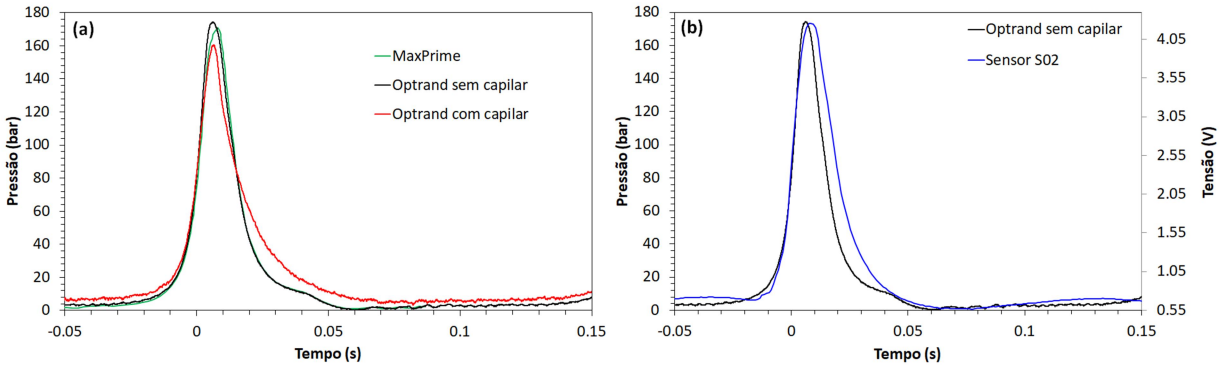

Figura 7 - (a) Resultado do sensor Optrand no ponto de monitoração de pressão do motor com e sem capilar (b) Comparação Optrand x sensor S02.

4.0 - SENSOR DE FLUXO MÁSSICO

O sensor de fluxo mássico é baseado na tração da fibra com FBG, pois o fluxo de material combustível deve deformar a fibra com o tracionamento, conforme mostrado na Figura 8. A criação de um modelo capaz de simular o escoamento de óleo combustível é um grande desafio já que o conjunto mecânico de injeção apresenta funcionamento complexo e nem todos os seus parâmetros são mapeados. Soma-se a isso a complexidade inerente aos fenômenos de transferência de massa que podem estar sujeitos ao surgimento de turbulência e vórtices. Em função dessas dificuldades apresentadas o requisito principal para o dimensionamento do sensor é a determinação da faixa de velocidade de escoamento que este estará sujeito quando em operação. O seu funcionamento adequado deve ser garantido pelo ajuste da resistência mecânica que está associada ao material e a fatores geométricos. Por um lado, o sensor deve ser flexível o bastante para fornecer uma boa sensibilidade e ao mesmo tempo deve garantir que a sua resistência mecânica suporte as solicitações causadas pela força de arrasto. A forma de instalação do sensor no tubo de escoamento do combustível e a distribuição de forças causada pela força de arrasto fazem com que o dimensionamento do sensor seja baseado no projeto de uma viga engastada sujeita a uma força transversal distribuída. Uma representação esquemática do deslocamento e deformação atuantes no sensor é apresentada na Figura 8 (8).

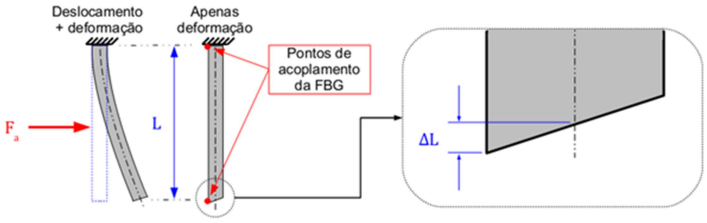

Figura 8 - Deslocamento e deformação do sensor FBG.

A sensibilidade do sensor pode ser avaliada para uma determinada espessura do sensor pela seguinte equação, onde, λ é o comprimento de onda característico da FBG:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \quad \rightarrow \quad \Delta\lambda = \lambda\frac{\Delta L}{L} \tag{1}$$

É importante mencionar que o procedimento de dimensionamento fornece apenas as dimensões globais do sensor e outros fatores devem ser levados em consideração para o seu projeto mecânico. O primeiro deles é a adição de um alojamento para a FBG, pois a ação direta do escoamento turbulento em alta pressão do óleo combustível sobre esse componente deve comprometer o funcionamento do sensor (ruptura da FBG e vazamentos, por exemplo). As Figuras 9(a) e 9(b) apresentam a montagem de uma primeira versão do sensor engastado. Na montagem utilizou-se uma lâmina de aço mola de 5 mm de largura por 0,5 mm de espessura. Para fixação da FBG na lâmina utilizou-se a cola epóxi, bem como, para fixação da lâmina no adaptador de latão. Nos testes laboratoriais foi realizada uma montagem como mostrada na Figura 9(c), que é composta de dois medidores de pressão um para medição manual e outro para aquisição de dados, duas válvulas para controle da entrada e saída de fluido, um medidor de vazão, uma válvula solenoide e o sensor óptico para medição de fluxo mássico. O circuito óptico de sensor de fluxo máxico é semelhante ao mostrado na Figura 3.

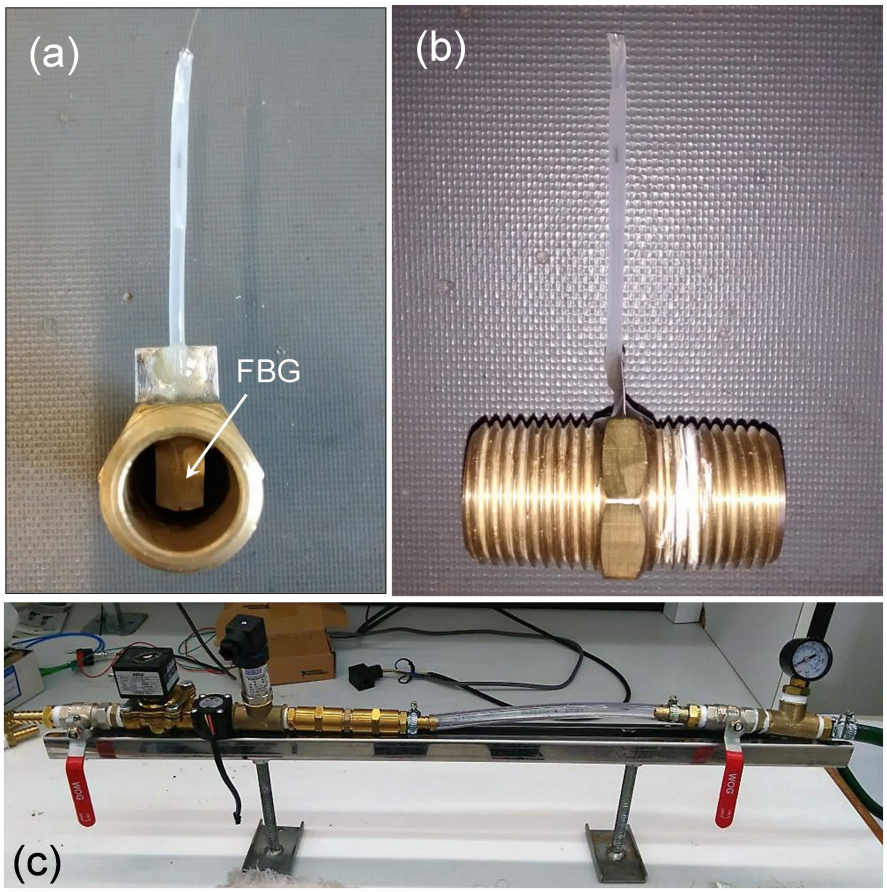

Figura 9 - (a) e (b) Primeira versão do sensor óptico fluxo mássico e (c) arranjo de testes para o sensor de fluxo mássico.

Foram realizados testes de bancada com uma pressão máxima de 10 bar e vazão de no máximo 16 L/min usando como material a água. A temperatura do liquido durante a medição se manteve na temperatura ambiente de 25°C. Podemos observar na Figura 10(a) a variação da tensão em volts em função do tempo para alguns valores de vazão do sistema. A variação negativa de tensão com o aumento da vazão do sistema é devido ao posicionamento da FBG do lado direito do filtro sintonizável. De acordo com a montagem eletro-óptica, uma variação positiva em comprimento de onda se traduz na diminuição da potência óptica refletida pela FBG e por consequência na diminuição do valor de tensão na saída do sistema de medição. Como pode ser observado na Figura 10(b) o sensor tem um valor mínimo de medição da ordem de 4 L/min ou 4kg/min, no caso do material de teste.

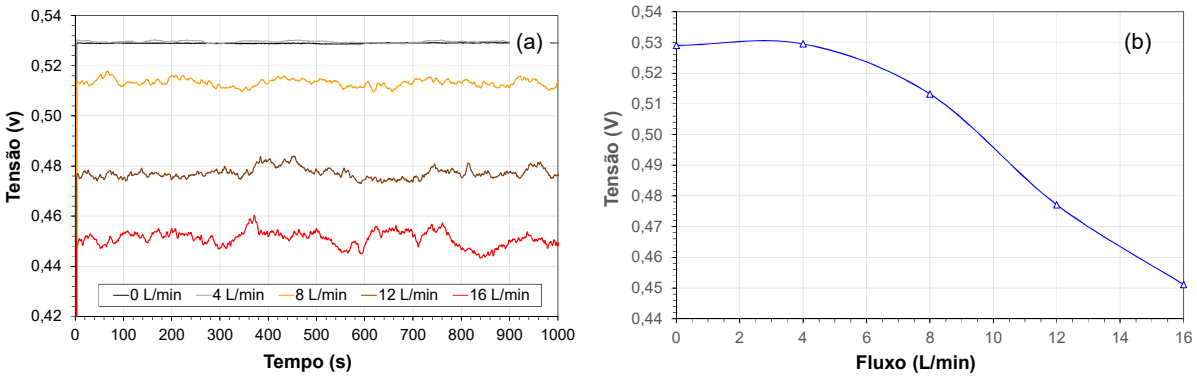

Figura 10 - (a) Resposta do sistema de sensoriamento ao longo do tempo para alguns valores de fluxo e (b) Resposta do sistema de sensoriamento em relação ao fluxo.

Como processo de evolução do sensor e para garantir uma robustez maior dada a dificuldade na vedação para medição de fluxo mássico foi adotada a instalação da FBG em uma peça mecânica mais robusta composta de uma região de deflexão. Esta peça é então encaixada em uma conexão “T” usada em alta pressão. A Figura 11 apresenta os detalhes desta montagem que está em desenvolvimento.

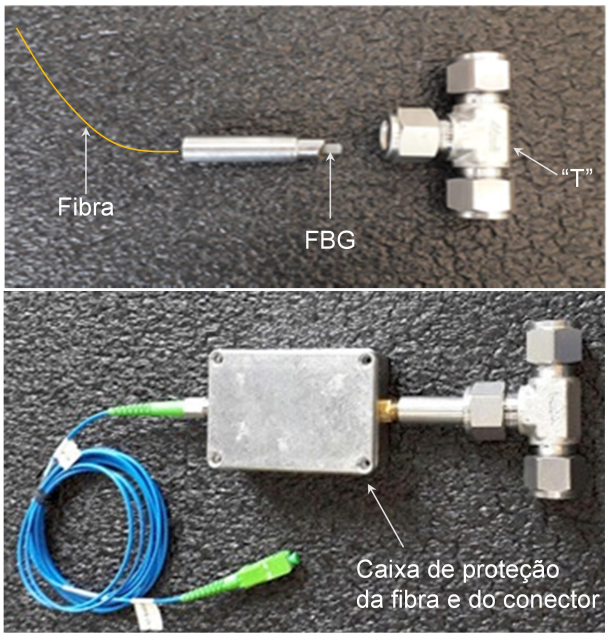

Figura 11 - Montagem do novo sensor fluxo mássico.

5.0 - CONCLUSÃO

Este trabalho descreveu o desenvolvimento e resultados dos testes de laboratório e de campo dos sensores de pressão e fluxo mássico para sistema de gerenciamento eletrônico de injeção de óleo combustível em motores de combustão interna. O desenvolvimento destes sensores encontra-se numa fase intermediária, onde o sensor de pressão está bem entendido e desenvolvido, restando apenas seu refinamento em termos de resposta temporal e de robustez. Já o para sensor de fluxo máximo é necessário ainda a obtenção de um protótipo adequado para ser testado em campo.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) D. Schiefer, R. Maennel, W Nordoni, "Advantages of diesel engine control using in-cylinder pressure information for closed loop control," SAE Paper No Paper 2003-01-0364 (2003).
(2) H. Huelser, K. Neunteufl, E. Unger, B. Breitegger, "Cylinder pressure-based engine control for diesel engines,", In 5th IAV Symposium, Berlin (2005).
(3) R. Kashyap, "Fiber Bragg Gratings", Academic Press, 1999, ISBN 0-12-400560-8
(4) H.-J. Sheng, M.-Y. Fu, T.-C. Chen, W.-F. Liu, S.-S. Bor, "A lateral pressure sensor using a fiber Bragg grating," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 16, no. 4, pp. 1146 – 1148 (2004)
(5) F. Urban, J. Kadlec, R. Vlach, R. Kuchta, "Design of a Pressure Sensor Based on Optical Fiber Bragg Grating Lateral Deformation," Sensors 2010, 10, 11212-11225 (2010).
(6) N. Mohammad, W. Szyszkowski, W. J. Zhang, E. I. Haddad, J. Zou;, W. Jamroz, R. Kruzelecky, "Analysis and development of a tunable fiber Bragg grating filter based on axial tension/compression," Journal of Lightwave Technology, vol. 22, no. 8, pp. 2001-2013 (2004).
(7) S. J. Mihailov, "Fiber bragg grating sensors for harsh environments," Sensors 2012, 12, 1898-1918.
(8) Hibbeler, R. C. Resistência dos Materiais. 3 ed., Editora Livros Técnicos e Científicos, 2000.
(9) Fiber optic sensors for extreme environments, http://www.optrand.com/, acesso dia 22/04/2019.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

- João Batista Rosolem, concluiu o Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo. Suas áreas de atuação no CPqD é a de sensores de fibra óptica para sistemas de energia elétrica (temperatura de rotor, temperatura de barramentos e linhas de transmissão, descargas parciais de estator de hidrogeradores e de buchas de transformadores, qualidade de contato de chaves seccionadoras, nível de água de barragens, piezômetros, corrente e tensão).

- Rivael Strobel Penze, concluiu o Doutorado em Engenharia Elétrica pela Unicamp. Atualmente é pesquisador da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). Suas áreas de atuação são: Comunicações ópticas, Rede de óptica de acesso, Amplificadores ópticos, Dispositivos de fibras ópticas, Sensores de fibra óptica (Power over Fiber, Fiber Bragg Grating, Distributed Temperature Sensing, Bending fibers), sensores para sistemas de energia Elétrica (temperatura de rotor, temperatura de barramentos e linhas de transmissão,

descargas parciais de estator de hidrogeradores e de buchas de transformadores, qualidade de contato de chaves seccionadoras, nível de água de barragens e piezômetros, corrente e tensão).

- Deleon Vasconcelos da Silva – Nasceu em Santarém, PA, em 1984. Formou-se em Administração pela Universidade Paulista, em João Pessoa, em 2009. Atualmente é especialista técnico em motores a diesel nas Centrais Elétricas de Paraíba.

- Marcelo Agra Ramos Junior – Nasceu em 1985, 02, Brasil, em Campina Grande / PB. Formou-se em Engenharia Mecânica pela UFCG, Campina Grande, em 2008. Atualmente é Gerente de Fábrica na Centrais Elétricas da Paraíba.

- Fabio Renato Bassan - É Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas. Atua no CPqD na área de engenharia elétrica, com ênfase em comunicações ópticas e sensores a fibra óptica tais como: power over fiber, DTS, bending fibers, temperatura de linhas de transmissão, descargas parciais de buchas de transformadores, qualidade de contato de chaves seccionadoras.

- Claudio Floridia - É Doutor em Física pela Universidade Federal de Pernambuco e pesquisador do CPqD onde atua na área de sistemas de sensoriamento com fibras ópticas baseados em diferentes tecnologias tais como sensores com grade de Bragg, sensores distribuídos, sensores de tensão e corrente, técnicas de espectroscopia óptica, entre outros, com aplicações nos setores elétrico, óleo e gás, metroviário, e de monitoramento de estruturas civis.

- Wagner Francisco Rezende Cano - É engenheiro mecânico pela Universidade Estadual Paulista onde concluiu o Mestrado em 2015. Atualmente é Pesquisador na Fundação CPqD atuando nas seguintes áreas: análise e simulação numérica de sistemas dinâmicos, processamento de sinais, projeto de componentes mecânicos e sensores, além de exercer a função de coordenador de um projeto de P&D ANEEL.

- Rodrigo Peres - É engenheiro físico pela Universidade Federal de São Carlos. Cursa mestrado na Faculdade de Tecnologia na Unicamp e é pesquisador da Fundação CPqD, atuando em projetos de P&D para o setor elétrico, no desenvolvimento de sensores ópticos para o monitoramento e supervisão de linhas de transmissão, subestações e em barragens de usinas hidrelétricas.

- Danilo Cesar Dini - É Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Possui certificação PMP-Project Management Professional pelo PMI-Project Management Institute. Atualmente é pesquisador no CPqD. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Comunicações Ópticas. Tem atuado em projetos de sensores ópticos para o monitoramento em barragens de usinas hidrelétricas, subestações e transformadores de potência em P&D para o Setor Elétrico

- Eduardo Ferreira da Costa - Possui doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é engenheiro da Fundação CPqD. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em circuitos eletrônicos, opto eletrônicos, sistemas de telecomunicações e desenvolvimento de firmware e software na plataforma LabVIEW. Tem atuado como pesquisador e coordenador de projetos de P&D para o Setor Elétrico em projetos de soluções de monitoramento e supervisão de sistemas elétricos de potência, linhas de transmissão e distribuição e equipamentos de subestações e usinas hidrelétricas.