

## Produção de sensores baseados em Rede de Bragg em fibra ótica para medição de temperatura ambiente

## Production of Fiber Bragg Gratings optical sensors for environment temperature measurement

### RESUMO

Sensores baseados em redes de Bragg em fibra ótica (FBG) vêm se destacando, pois possuem vantagens em condições onde os sensores eletrônicos convencionais apresentam limitação. Esse trabalho verificou a degradação da intensidade espectral em reflexão dos sensores óticos por um ano, em temperatura ambiente, comparando a durabilidade entre FBG e os sensores baseados em rede de Bragg regenerados em fibra ótica (RFBG), utilizando um termopar tipo K como referência. As medições de temperatura foram aferidas a cada 7 dias. As etapas do trabalho foram: hidrogenação das fibras óticas; gravação dos sensores FBGs; gravação das redes semente; realização do tratamento térmico das redes semente para regeneração e obtenção de RFBGs; calibração dos sensores óticos; encapsulamento dos sensores óticos com capilares em aço inoxidável; montagem do aparato em campo para medição de temperatura e coleta e análise das medidas dos sensores utilizados. Oito redes semente foram gravadas e passaram por tratamento térmico. Porém, apenas uma foi devidamente regenerada. As medições das temperaturas, não mostraram diferenças significativas, também não houve perda significativa de intensidade de sinal refletido ao longo do tempo e nem entre os sensores, o que aponta que esses sensores FBG e RFBG podem ser utilizados em aplicações de longa durabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** FBG. RFBG. Sensor ótico de temperatura. Calibração. Tratamento térmico.

### ABSTRACT

Fiber Bragg Gratings sensors (FBG) has stood out because of they have operating advantages in conditions where conventional electronic sensors have limited. This work verified the optical sensors spectral intensity degradation in reflection of over a year, at environmental temperature, comparing the durability between FBG and the RFBG (Regenerated Bragg Gratings in optical fiber), using a K-type thermocouple as a temperature reference. The measurements were taken every 7 days. The steps of the work were: optical fibers hydrogenation; FBGs written; seed gratings written; seed gratings thermal treatment for regeneration to obtain RFBGs; optical sensors calibration; optical sensors encapsulation with stainless steel capillaries; device assembly in the field for environmental temperature measurement by sensors. Eight seed gratings were recorded and undergo to heat treatment. However, only one has been properly regenerated. The temperature measurements did not show significant differences, there was also no significant signal loss of reflected intensity over time, nor among the sensors, which shows that these FBG and RFBG sensors can be used in long-lasting applications.

**KEYWORDS:** FBG. RFBG. Temperature optical sensor. Calibration. Thermal treatment.

Antonio Carlos Ribeiro Filho  
[Antonio.2018@alunos.utfpr.edu.br](mailto:Antonio.2018@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

Valmir de Oliveira  
[valmir.utfpr@gmail.com](mailto:valmir.utfpr@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal  
do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

**Recebido:**

**Aprovado:**

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Inúmeras técnicas de fabricação e topologias lograram êxito na obtenção de dispositivos de dimensões cada vez mais reduzidas no decorrer do desenvolvimento tecnológico (SILVA, 2011), mas foi no ano de 1978, que as redes de Bragg em fibra ótica - (FBG – Fiber Bragg Grating) - destacaram-se por suas características espectrais inerentes, que permitiram o desenvolvimento de filtros para sistemas de comunicações baseados em fibra ótica (HILL et al., 1978; HILL; MELTZ, 1997). Além das aplicações e vantagens apresentadas pelas redes de Bragg no campo das comunicações óticas, Moura e Oliveira (2018) citam que o uso das FBGs como sensores também cresceu acentuadamente nas últimas décadas, tendo como vantagem a atuação em algumas condições onde os sensores eletrônicos convencionais apresentam limitação de uso ou menor desempenho.

Assim, atualmente, FBGs estão cada vez mais acessíveis no campo da instrumentação industrial, de pesquisa ou laboratorial, devido a essas inúmeras vantagens em relação aos sensores convencionais. Essa acessibilidade, leva a crer que estes dispositivos passarão a ser cada vez mais utilizados em diversas aplicações, o que justifica a importância desse trabalho, que teve como objetivo verificar a degradação de intensidade espectral em reflexão dos sensores óticos ao longo de um ano, quando expostos a temperatura ambiente e comparando a durabilidade entre as FBG e RFBG, com o uso de um multímetro (ICEL Manaus MD-6111) utilizando um sensor termopar tipo K como referência.

## GRAVAÇÃO DE REDES DE BRAGG

A técnica utilizada para a gravação das FBGs foi a iluminação direta sob máscara de fase, que é um elemento difrator que modula espacialmente o feixe de um laser UV para gerar um padrão de interferência sobre a fibra ótica. Esse padrão modula espacialmente o índice de refração no núcleo da fibra ótica. De acordo com Souza (2011) essa técnica é amplamente utilizada, comparada a outras, devido principalmente à: simplicidade, capacidade de reprodutibilidade e reduzida coerência da emissão laser necessária para formar a interferência.

Várias FBGs foram gravadas com o uso do laser excímero ultravioleta (Coherent Xantus Xs) com comprimento de onda central 193 nm, frequência de 250Hz e diferentes intensidades de energia, com as fibras óticas ficando expostas por períodos de 5 a 25 minutos ao feixe laser. As redes sementes foram obtidas a partir das gravações das redes de Bragg em fibras óticas hidrogenadas. Após a gravação, 10 FBGs e 8 redes sementes foram obtidas.

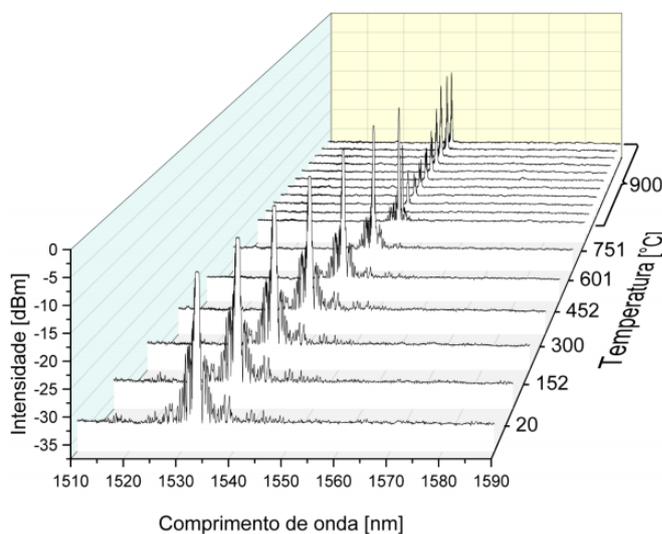
## REGENERAÇÃO

As redes sementes foram tratadas termicamente com o intuito de que houvesse o processo de regeneração, que as tornam RFBGs. Para realizar a regeneração das diversas redes sementes, o primeiro passo foi encapsular a FBG a ser regenerada. Para tal, foram utilizados tubos capilares de aço inoxidável (AISI 304) (MOURA; OLIVEIRA, 2018). Para o tratamento térmico, foi utilizado o forno Novus 1200, com programação de rampas de aquecimento até 900°C partindo da

temperatura ambiente do laboratório ( $\sim 22^{\circ}\text{C}$ ), com os dados do ensaio adquiridos a cada  $\sim 50^{\circ}$ .

Durante o processo de regeneração diversas redes sementes não regeneraram o suficiente para serem utilizadas como sensor, pois não houve o recrescimento suficiente do espectro refletido após atingir uma amplitude mínima. Entre todas as tentativas de regeneração, apenas uma se mostrou efetiva, com um recrescimento significativo do espectro refletido atingindo um valor de 15 dBm, como mostra o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Rede semente 2: Recrescimento espectral típico do processo de regeneração relacionado diretamente com a temperatura.



Fonte: Autoria própria (2020).

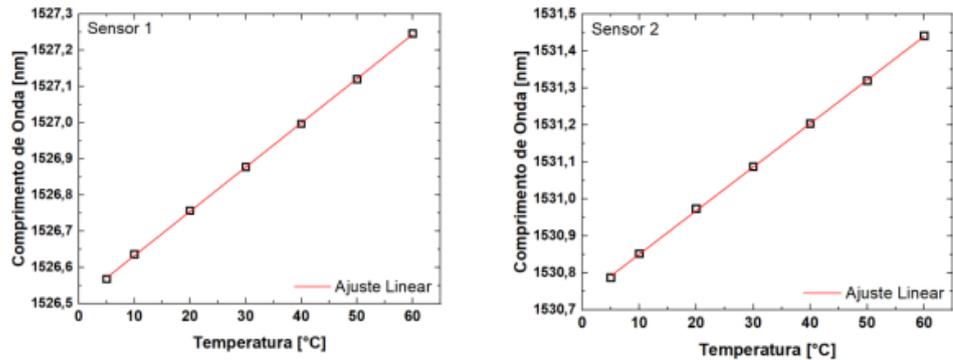
Um pico bem definido e uma boa intensidade do espectro da RFBG após a regeneração foi obtido, o que facilita a leitura da posição espectral pelos interrogadores óticos. Devido ao fato de ser a única fibra propriamente regenerada, a mesma foi utilizada nas próximas etapas do trabalho.

### CALIBRAÇÃO COM PASTILHA TERMOELÉTRICA PELTIER (TEC)

Uma FBG e uma RFBG foram escolhidas, escolhidas pela sua intensidade de sinal refletido, largura espectral, qualidade na regeneração, entre outros, para que fossem calibradas e utilizadas como sensores de temperatura. As calibrações dos sensores para obtenção das curvas de sensibilidade térmica foram realizadas com a pastilha termoeletrica Peltier (TEC), com patamares de aquecimento de  $5^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  e  $60^{\circ}\text{C}$ , repetidos por 11 ciclos para obtenção de uma repetitividade das medidas. Esses valores de temperatura foram escolhidos pois os sensores produzidos tinham por finalidade a utilização em temperatura ambiente.

O gráfico 2 apresenta as médias obtidas após os ciclos de testes de calibração em temperatura, para obtenção do coeficiente de sensibilidade térmica, tanto da FBG (sensor 1) quanto da RFBG (sensor 2), respectivamente.

Gráfico 2 – Resultado da calibração utilizando um TEC para o sensor 1 e sensor 2



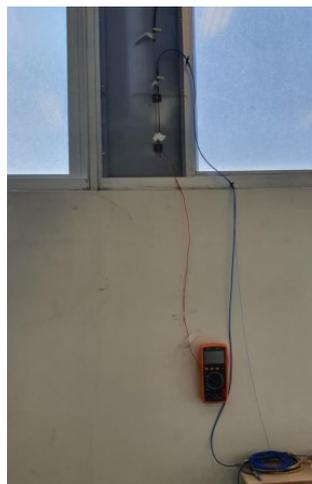
Fonte: Autoria própria (2020).

Nos dois casos, foi utilizado um ajuste linear para simplificar a relação do comprimento de onda de Bragg com a temperatura, assim foi obtido o coeficiente de sensibilidade térmica do sensor 1 (12,23 pm/°C) e do sensor 2 (11,80 pm/°C), assim percebe-se que o sensor 1 é ligeiramente mais sensível as flutuações de temperatura do que o sensor 2

### MEDIÇÃO DA TEMPERATURA

O ensaio de medição de temperatura ambiente dos sensores 1 e 2 foram realizados. Para tal, ambos os sensores foram fixados em uma parede em temperatura ambiente com o auxílio do dispositivo construído para essa finalidade como mostra a figura 1.

Figura 1 – Sensores 1 e 2 acoplados na parede com auxílio do dispositivo



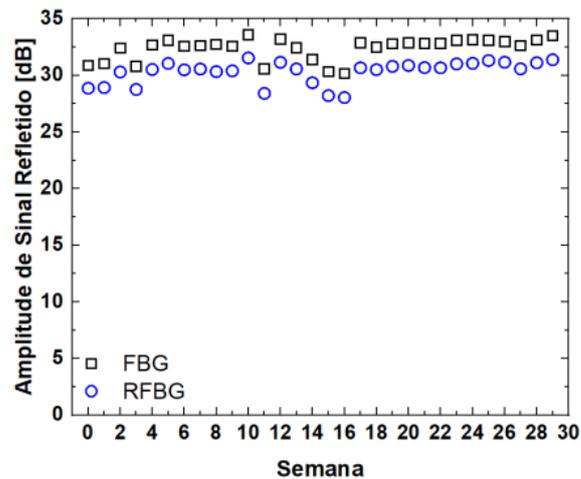
Fonte: Autoria própria (2020).

Os sensores 1 e 2 foram encapsulados em aço inoxidável AISI 304, e fixados em um dispositivo construído com uma chapa metálica em contato com uma parede interior do laboratório, e monitorados por um multímetro (ICEL Manaus MD-6111) utilizando um sensor termopar tipo K. A chapa metálica tem contato indireto com o exterior do laboratório, e por isso sofre variações de temperatura

de acordo com a parede. Os sensores fazem a medição de temperatura na placa, assim como o termopar tipo k, então podem ser correlacionados. Com esse ensaio pode-se observar as degradações espectrais em reflexão ao longo do tempo e comparar as diferenças de durabilidade do sensor 1 e 2. A aquisição de dados vai continuar a ser realizada durante um ano (ainda em processo durante o término desse trabalho), com intervalos de 7 dias entre cada aquisição.

Ao adquirir a posição espectral dos sensores 1 e 2 utilizando o coeficiente de sensibilidade térmica para conversão em temperatura, pode-se comparar com as medidas de temperatura obtidas do termopar tipo K. A variação da intensidade do sinal refletido do sensor 1 e do sensor 2 foram analisadas durante as semanas do experimento. Para essa análise, a amplitude do sinal foi obtida, com o extremo inferior conhecido como linha de base e o extremo superior sendo valor da intensidade refletida no comprimento de onda de Bragg. Para o sensor 1 foi utilizado uma linha de base de  $-50$  dBm e para o sensor 2 foi utilizado  $-45$  dBm (Gráfico 3), isto se deve às flutuações na linha de base, mas não interferem no resultado final.

Gráfico 3 – Variações nas amplitudes do sinal refletido do sensor 1 e 2 ao longo do experimento.



Fonte: Autoria própria (2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Oito redes sementes foram gravadas e passaram pelo tratamento térmico. No entanto, apenas uma foi devidamente regenerada, isto é possuía intensidade espectral em reflexão suficiente para a regeneração, o que mostra que a energia do laser utilizada durante a gravação não era suficiente para produção de redes sementes devidamente saturadas. É interessante observar que, para as mesmas temperaturas, há uma ligeira diferença entre os comprimentos de onda de Bragg da FBG e da RFBG devido às diferentes máscaras de fase utilizadas durante suas gravações. Não houve maior degradação da intensidade do sinal refletido por parte dos sensores durante o acompanhamento de 11 meses e nem entre a FBG e RFBG, o que aponta que esses sensores podem ser utilizados em aplicações de longa durabilidade a uma temperatura ambiente.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à UTFPR pelo apoio financeiro. Agradeço ao Laboratório de Fotônica (FOTON) (UTFPR Curitiba) pelo espaço cedido para elaboração da pesquisa. Agradeço ao meu orientador Valmir de Oliveira, por estar sempre disposto a me ensinar. Agradeço a Karoline Sato e Camila Carvalho de Moura por desenvolver este trabalho em conjunto.

## REFERÊNCIAS

- HILL, K.O.; MELTZ, G. Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview. **Journal of Lightwave and Technology**, vol. 15, issue 8, p. 1263-1276, 1997.
- HILL, K.O.; FUJII, Y.; JOHNSON, D.C. and KAWASAKI, B.S. Photosensitivity in optical fiber waveguides: application to reflection filter fabrication. **Applied Physics Letters**, vol. 32, p. 647-649, 1978.
- MOURA, C.C.; OLIVEIRA, V. Caracterização de sensores de temperatura baseados em redes de Bragg encapsulados com alumina e aço inox. Apresentado no **18° SBMO - Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e 13° CBMAG - Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo**, p. 534-538, 2018.
- SILVA, G.E. **Implementação e caracterização da resposta dinâmica de transdutores de deformação e temperatura a fibras ópticas baseados em redes de Bragg**. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.