

Sensores ópticos encapsulados para medição simultânea de temperatura e deformação em estruturas de civis

Encapsulated optical sensors for simultaneous temperature and strain measurement in civil structures

RESUMO

Tiago Paixão de Carvalho
tiagocarvalho@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Kleiton de Moraes Sousa
kleitonsousa@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

O objetivo desse trabalho é analisar, identificar e selecionar técnicas utilizadas para encapsulamento de sensores em fibra óptica, em especial sensores FBG, para utilização como sensor de temperatura e deformação em SHM. Para tal, realizou-se um estudo referente ao funcionamento dos sensores FBG, sensores estes que possuem o efeito de sensibilidade cruzada. Dessa forma a foi selecionado um formato não uniforme para desenvolvimento do encapsulamento de uma dupla FBG. Os materiais poliméricos mostraram-se uma alternativa viável para os encapsulamentos, devido a sua praticidade e resistência para proteção e posterior aplicação em estruturas civis. Os corpos de provas preliminares foram desenvolvidos com resina de poliéster que se mostrou um material de maleável e apresentou tempo de cura rápido para implementação.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras ópticas. Análise estrutural. Instrumentos ópticos.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

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



ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze, identify and select techniques used for encapsulating fiber optic sensors, especially FBG sensors, for use as temperature and strain sensors in SHM. To accomplish this task, a study was performed regarding the operation of FBG sensors, which have the effect of cross sensitivity. Thus, a non-uniform format was selected for encapsulation development of a double FBG. The polymeric materials proved to be a viable alternative for encapsulations, due to their practicality and resistance for protection and, subsequently, application in civil structures. Preliminary specimens were developed with polyester resin which proved to be a malleable material and showed fast cure time for implementation.

KEYWORDS: Optical fibers. Structural Analysis. Optical instruments.

INTRODUÇÃO

Tendo em vista a importância da capacidade de monitorar a integridade de estruturas, indústrias privadas e governamentais ao redor do mundo têm se interessado em identificar os possíveis danos em seus produtos ou infraestruturas. Entretanto, essa necessidade exige que essas indústrias utilizem alguma forma de monitoramento de saúde estrutural, SHM (do inglês *Structural Health Monitoring*) (FARRAR; WORDEN, 2010).

Devido a sua enorme gama de aplicações, a utilização de sensores tem se desenvolvido rapidamente e vem garantindo a operação de diversos sistemas de instrumentação e medição. Porém, em algumas dessas aplicações se faz necessário o uso de sensores adaptados (RODRIGUES; DE NAZARÉ; WERNECK, 2014). Os sensores ópticos baseados em redes de Bragg (FBG, do inglês *Fiber Bragg Gratings*), devido às suas características intrínsecas, apresentam vantagens quando comparados a outras formas de monitoramento. Além de serem passivos, a imunidade à interferência eletromagnética, tamanho reduzido, multiplexação em uma única fibra e a não necessidade de fontes de alimentação locais destacam essa modalidade de sensores (MÉNDEZ, 2007).

Neste trabalho, são apresentadas discussões acerca de sensores em fibra óptica, em especial os sensores FBG, visando aplicação em estruturas civis para medição simultânea de temperatura e deformação. Foram tratados assuntos como a sensibilidade cruzada em sensores FBG e uma abordagem de encapsulamento de sensores em FBG utilizada para mitigar os efeitos da sensibilidade cruzada.

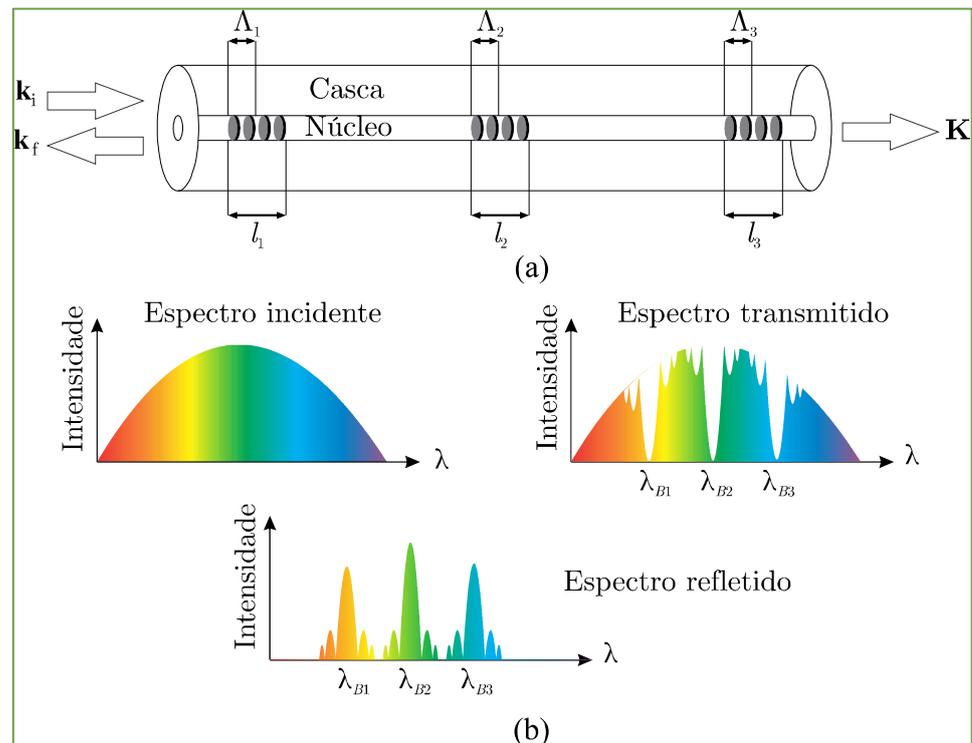
METODOLOGIA

As redes de Bragg em fibra óptica consistem numa perturbação periódica no índice de refração ao longo do núcleo da fibra. Essa mudança no índice de refração é efetuada a partir da aplicação de uma luz ultravioleta perpendicular ao longo do eixo longitudinal da fibra. Sendo assim, o índice de refração é alterado de acordo com a intensidade da luz incidente no núcleo da fibra. Esse padrão de variação no índice refletirá um comprimento de onda que depende do espaçamento entre as redes gravadas na fibra, com isso, é possível determinar a equação do comprimento de onda de Bragg (λ_B) em função da variação efetiva do índice de refração da fibra (η_{ef}) e do período de espaçamento da rede (Λ), mostrada na Equação 1. (CASCARDO CARNEIRO; LÓPEZ BARBERO, 2018; HILL; MELTZ, 1997)

$$\lambda_B = 2\eta_{ef} \Lambda \quad (1)$$

Com a variação da periodicidade da rede é possível multiplexar mais de um sensor em comprimento de onda na mesma fibra. Dessa forma, a Figura 2 apresenta um núcleo contendo três FBGs com periodicidades de rede diferentes, e seus espectros refletidos de acordo com cada comprimento de onda Bragg. (SOUSA, 2011).

Figura 1 – Representação de uma FBG: (a) fibra óptica contendo três FBGs e (b) espectros associados.



Fonte: (SOUSA, 2011).

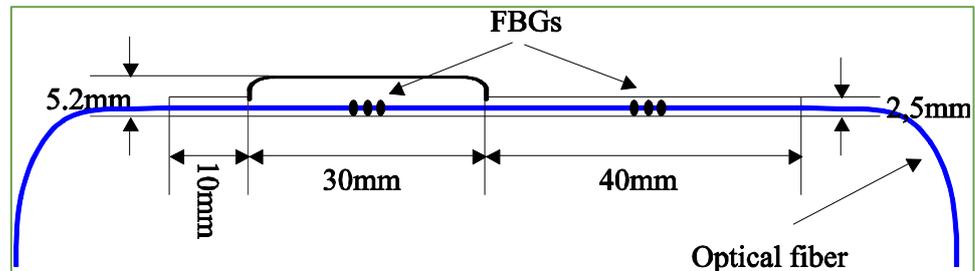
Em aplicações onde os sensores FBG são utilizados como sensor de deformação, considera-se o efeito opto-elástico atrelado a fibra para observar a variação do espectro de reflexão da FBG em relação a deformação mecânica aplicada sobre a mesma (CASCARDO CARNEIRO; LÓPEZ BARBERO, 2018). Já em aplicações como sensor de temperatura, observa-se o efeito da mudança de temperatura em relação ao comprimento da onda de Bragg, esse efeito é diretamente relacionado a expansão térmica e ao coeficiente opto-térmico. Essa característica intrínseca aos sensores FBG, de serem sensíveis simultaneamente a variações de deformação e temperatura, é chamada de sensibilidade cruzada (MAJUMDER et al., 2008).

O fenômeno da sensibilidade cruzada contribui para a dificuldade de sensores FBG comuns de discriminar e identificar os vários parâmetros associados a uma única medida de comprimento de onda Bragg, como a deformação e a temperatura. Dessa forma, para discriminar esses parâmetros individualmente, neste trabalho foi utilizado a metodologia de um encapsulamento não uniforme de um par de FBG que visa obter uma maior sensibilidade no monitoramento além da proteção da fibra. Os formatos não uniformes do encapsulamento da fibra permitem que a mesma obtenha variações de deformação e temperaturas diferentes para cada FBG. Nesse sentido, materiais poliméricos se provaram robustos para a aplicação e utilização dessa metodologia de monitoramento (DREYER et al., 2013; MOKHTAR; SUN; GRATTAN, 2012).

Como proposto em (DREYER et al., 2013) o encapsulamento tem como objetivo a elaboração de um formato não uniforme para cada FBG utilizada na

fibra, a fim de discriminar a variação de comprimento de onda devido a variações de temperatura e deformação, a Figura 2 apresenta o esquemático do encapsulamento com suas respectivas medidas.

Figura 2 – Esquemático do diagrama de encapsulamento do sensor inserido em um formato não uniforme.



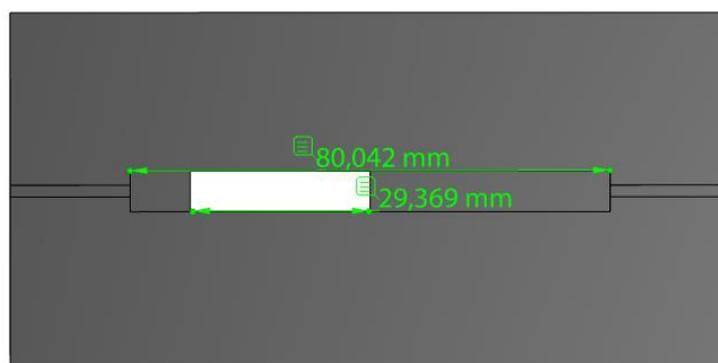
Fonte: (DREYER et al., 2013).

Foram realizadas duas formas de encapsulamento, o primeiro utilizando resina de poliéster, material polimérico semilíquido que endurece quando misturado ao catalizador (agente endurecedor). A composição entre a resina e o catalizador varia de acordo com seu fabricante, em geral são utilizadas de 30 a 35 gotas de catalizador para cada 100ml de resina. O tempo de cura desse processo pode variar de acordo com a quantidade de gotas utilizada. E o segundo com o derretimento do Polipropileno em uma mufla.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A matriz apresentada na Figura 3, é composta por alumínio, e é responsável por manter o a resina de poliéster durante o período de cura no formato não uniforme.

Figura 3 – Vista superior da matriz de alumínio desenvolvida para encapsulamento



Fonte: Autoria própria.

Para a realização deste trabalho foi utilizado uma proporção de 12 gramas de resina para 5 gotas de catalizador. É necessário fazer uma mistura entre a resina e o catalisar a fim de tornar o semilíquido homogêneo, essa mistura é aplicada a matriz para o período de cura. No período inicial da cura, foram utilizadas fitas adesivas na parte inferior da matriz a fim de evitar o vazamento da resina. Após um período de 30 minutos o corpo de prova pode ser retirado da matriz e

permanece em período de cura por mais 24 horas. A Figura 4 apresenta o resultado final utilizando a resina de poliéster como material de encapsulamento.

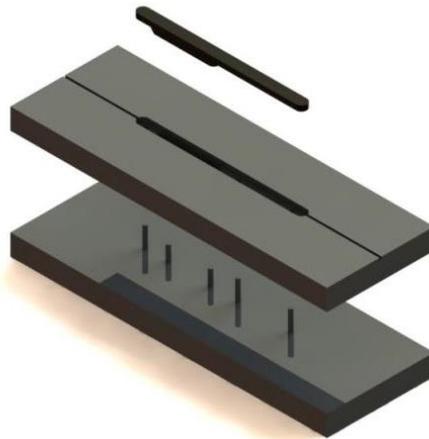
Figura 4 – Corpo de prova utilizando Resina de poliéster.



Fonte: A autoria própria.

Para o encapsulamento utilizando o polipropileno foi utilizada a matriz da Figura 5. A mesma matriz utilizada por DREYER em 2013.

Figura 6 – Matriz de aço utilizada para encapsulamento com polipropileno.



Fonte: (DREYER et al., 2013).

Dessa forma a matriz é pré-aquecida a 200°C durante 50 minutos e após isso o polipropileno é inserido a matriz para derretimento durante mais 50 minutos, também a 200°C. A Figura 7 apresenta o corpo de prova de polipropileno.

Figura 7 – Corpo de prova utilizando Polipropileno.



Fonte: A autoria própria.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento do encapsulamento não uniforme utilizando a resina de poliéster mostrou-se uma alternativa viável para aplicação em estruturas. Quando comparado ao polipropileno, além de da praticidade de fabricação a resina de poliéster mostrou-se mais robusta fisicamente, não apresentando bolhas em seu corpo de prova, o que poderia prejudicar as etapas futuras do trabalho, visto que os sensores a serem encapsulados são sensíveis tanto a estresse mecânico como a temperatura, as bolhas que apareceram durante o corpo poderiam alterar as medidas relacionadas deformação mecânica.

As etapas futuras para desenvolvimento desse trabalho, visa o encapsulamento dos sensores em fibra óptica, visto que nesse trabalho foram desenvolvidos apenas corpos de provas de resina em poliéster, para se verificar a viabilidade de aplicação em sensores FBG.

Após o encapsulamento dos sensores FBG, será necessária a calibração dos mesmos visando identificar quais componentes de temperatura e de deformação dos sensores FBG correspondem a onda Bragg refletida. Dessa forma, posteriormente os sensores serão utilizados para monitoramento simultâneo de temperatura e deformação em estruturas.

REFERÊNCIAS

- CASCARDO CARNEIRO, A.; LÓPEZ BARBERO, A. P. **PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DOS SENSORES ÓPTICOS BASEADOS EM GRADES EM FIBRAS ÓPTICAS E SUA IMPORTÂNCIA NAS DIFERENTES ÁREAS TECNOLÓGICAS.** Engevista, 2018.
- DREYER, U. et al. **A technique to package fiber bragg grating sensors for strain and temperature measurements.** *Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications.* Anais...2013
- FARRAR, C. R.; WORDEN, K. **An introduction to structural health monitoring.** In: **CISM International Centre for Mechanical Sciences, Courses and Lectures.** [s.l: s.n.].
- HILL, K. O.; MELTZ, G. **Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview.** *Journal of Lightwave Technology,* 1997.
- MAJUMDER, M. et al. **Fibre Bragg gratings in structural health monitoring-Present status and applications** *Sensors and Actuators, A: Physical,* 2008.
- MÉNDEZ, A. **Fiber Bragg grating sensors: a market overview.** *Third European Workshop on Optical Fibre Sensors.* Anais...2007
- MOKHTAR, M. R.; SUN, T.; GRATTAN, K. T. V. **Bragg grating packages with nonuniform dimensions for strain and temperature sensing.** *IEEE Sensors Journal,* 2012.
- RODRIGUES, D. M. C.; DE NAZARÉ, F. V. B.; WERNECK, M. M. **Enhanced plastic optical fiber sensor for refractometry based on amplitude modulation.** *Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference.* Anais...2014
- SOUSA, K. DE M. **Validação De Modelo Térmico E Elétrico De Motor De Indução Empregando Redes De Bragg Em Fibra Ótica.** p. 113, 2011.