

Estudo da sensibilidade de uma FBG pelo efeito do momento fletor

Sensitivity study of a FBG by the bending moment effect

RESUMO

Este estudo trata da influência do momento fletor no comprimento de onda de uma rede de Bragg colada em uma haste. Utilizou-se uma barra de alumínio com seção retangular e oca, em que foram coladas quatro redes de Bragg. Foram aplicadas forças de cisalhamento em determinadas posições após a haste ser engastada em uma de suas extremidades, de modo a se ter uma viga em balanço. A distância entre o ponto de aplicação de força e da extremidade solta da barra foi variado de 10 até 100 cm, que é o comprimento total da barra. Então, foram analisados resultados através de gráficos e de uma equação que descreve o comprimento de onda de Bragg em função do momento fletor encontrado. Os resultados mostraram que existe uma relação linear entre o comprimento de onda da rede de Bragg e o momento fletor.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras ópticas. Momento. Força.

ABSTRACT

This study deals with the influence of bending moment on the wavelength of a Bragg grating bonded to a rod. An aluminum bar with rectangular and hollow section was used, in which four Bragg gratings were glued. Shear forces were applied at certain positions after the rod, was crimped at one tip to provide a cantilever beam. The distance between the force application point and the loose tip of the bar was varied from 10 to 100 cm, which is the total length of the bar. Then, results were analyzed through graphs and an equation that describes the Bragg wavelength as a function of the bending moment found. The results showed that there is a linear relationship between the Bragg gratings wavelength and the bending moment.

KEYWORDS: Optical fibers. Moment. Force.

Larissa dos Santos Paulo
larissapaulo14@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Prof. Dr. Ricardo Canute Kamikawachi
canute@utfpr.edu.br
Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Prof. MSc. Diego Fernandes
diegofernandes.mdf@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Recebido:

Aprovado:

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



INTRODUÇÃO

A fibra ótica é um capilar composto por um material dielétrico, capaz de transmitir ondas eletromagnéticas. A propagação da onda por ela acontece através do fenômeno da reflexão interna e isso só é possível porque o índice de refração do núcleo é maior do que o da casca (KASHYAP, 1999).

Existem dois tipos de fibras óticas: a monomodo e a multimodo. Um modo é uma onda estacionária que é transmitida pela fibra. Assim, a fibra monomodo tem núcleo com diâmetro menor, variando de 8 a 10 μm e se caracteriza por ter apenas um modo de propagação, enquanto a multimodo apresenta diâmetro maior do núcleo, que pode ser de 50 até 200 μm , caracterizando-se por ter mais de um modo de propagação (FERNANDES, 2017).

Uma das aplicações das fibras óticas é o sensoriamento; dentre as técnicas para o sensoriamento através de fibras óticas está o da rede de Bragg (FBG - *Fiber Bragg Grating*). Esse tipo de sensor é produzido por um processo de gravação, no qual uma modulação periódica do índice de refração no núcleo da fibra é induzido pela exposição a um laser emitindo na região do ultravioleta. A exposição a um padrão de interferência é obtida através de uma máscara de fase. O feixe laser incide sobre a máscara de fase com o período espacial desejado e o feixe difrata e chega na fibra, posicionada transversalmente à luz, modificando algumas propriedades das ligações e, dessa forma, o índice de refração (HECHT, 2002).

Esse tipo de gravação com máscara de fase é vantajoso, pois apresenta praticidade, ou seja, facilidade de posicionamento e estabilidade sobre o padrão de interferência. Apesar disso, como cada máscara de fase tem um comprimento de onda, faz-se necessário usar mais de uma máscara de fase na mesma fibra, se houver necessidade de produzir redes com mais de um comprimento de onda (FERNANDES, 2017).

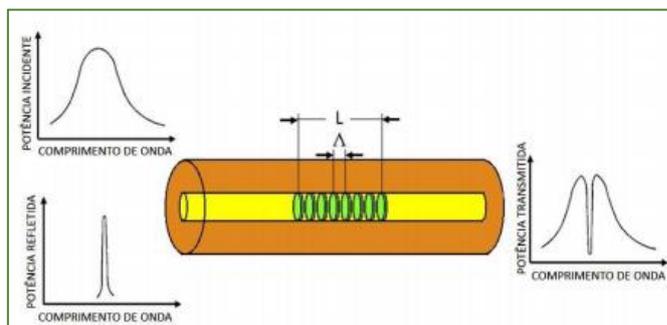
O sinal analisado através da rede de Bragg não é todo o espectro incidente e sim uma pequena faixa, que é o sinal refletido pela rede como se pode ser observado na Figura 1.

A equação base de sensores óticos com redes de Bragg (FERNANDES, 2017):

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

onde λ_B é o comprimento de onda na rede de Bragg, η_{eff} é o índice de refração efetivo e Λ é o período espacial do sinal modulado.

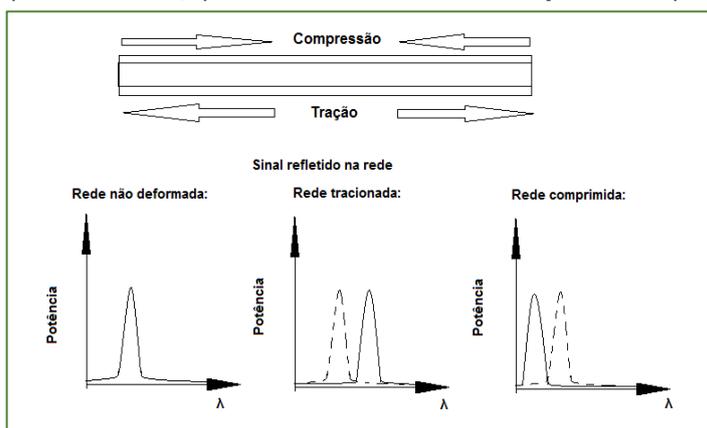
Figura 1 – Espectros de uma rede de Bragg: sinais incidentes, refletidos e transmitidos.



Fonte: NASCIMENTO, 2018.

A rede de Bragg apresenta possibilidade de análise de fatores como tensão longitudinal e temperatura, pois tais parâmetros alteram o comprimento de onda (HILL; MELTZ, 1997, p. 1263-1276). Para este trabalho, tanto a sensibilidade térmica, quanto a sensibilidade cruzada, que leva em consideração a ação da variação de temperatura no índice de refração, não foram consideradas, pois os experimentos foram realizados em laboratório cujo controle térmico é contínuo (FERNANDES, 2017). Já a tensão longitudinal acarretará em variação do comprimento de onda, como pode ser observado na Figura 02:

Figura 2 – Espectro refletido, quando a FBG é submetida à tração e a compressão.



Fonte: Autoria própria.

A deformação mecânica afeta o período da rede levando a um deslocamento em comprimento de onda dos picos do sinal refletido. Levando em consideração que a influência térmica no modo propagado pela fibra será controlada, a diferença entre os comprimentos de onda provocados pela tensão, pode ser dada por (OTHONOS; KALLI, p. 9–10; 98-99, 1999):

$$\Delta\lambda = \lambda_0(1 - \rho_e)\varepsilon \quad (2)$$

onde $\Delta\lambda$ é a variação do comprimento de onda, λ_0 é o comprimento de onda antes da rede sofrer deformação, ρ_e é a constante fotoelástica típica da fibra e ε é a deformação sofrida pelo material.

Portanto é possível determinar o momento fletor em uma barra utilizando uma FBG. Para isso foi equacionado a variação do comprimento de onda $\Delta\lambda$ em função do momento fletor de uma força concentrada, levando em consideração a geometria da haste, que é retangular e oca, e a posição da força aplicada, chegando-se à seguinte equação:

$$\Delta\lambda = \lambda_B \frac{M(x) \cdot d \cdot (1 - \rho_e)}{E \cdot J_s} \quad (3)$$

Sendo λ_B o comprimento de onda de Bragg, $M(x)$ o momento fletor em função da posição da aplicação da força na haste, da distância transversal entre o centroide da área de seção transversal e a Rede de Bragg colada na haste, E o módulo de elasticidade do alumínio e J_s o momento de inércia da seção transversal da haste.

O objetivo deste trabalho é estudar a possibilidade de determinar a deformação de uma barra utilizando uma rede de Bragg, verificando experimentalmente se deslocamento do comprimento de onda pode ser relacionado ao momento fletor através do modelo apresentado na equação (3).

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se 50 cm de uma fibra monomodo de marca qualquer, que foi conectada a um pigtail utilizando uma máquina de fusão. Após utilizou-se um interrogador Micron Optics SM125 para observar o espectro de reflexão da rede de Bragg resultante do processo de gravação. Essa gravação foi feita utilizando a técnica da exposição de um laser Excímero 193 na máscara de fase, em quatro comprimentos de onda diferentes: 1527, 1532, 1541e 1553 nm. Após, as quatro redes foram coladas com cola instantânea em uma haste de alumínio com seção transversal retangular oca de dimensões externas de 5,0 x 2,5 cm, e espessura de 1 mm, sendo seu o comprimento longitudinal 1,0 m. A Figura 3 mostra o protótipo do transdutor obtido.

Figura 3—Protótipo do transdutor para o sensoriamento de momento fletor.



Fonte: Autoria própria.

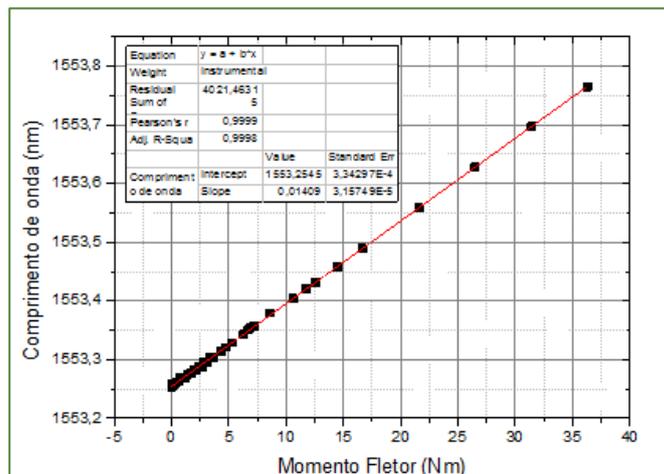
Para obter-se o momento fletor, foram feitas marcações a cada 10 cm, a partir da extremidade engastada da haste, que permaneceu com uma viga em balanço. Em cada uma dessas marcações alternadamente foi suspenso, com o auxílio de um

suporte, corpos de massa 0,5, 1,0, 2,0 e 5,0 kg, de modo a se ter diferentes valores de momento fletor em cada parte da barra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando cada um dos corpos suspensos, foi possível encontrar momentos fletores entre 0 e 37,6508 Nm a partir da posição da FBG com 1552 nm de comprimento de onda, que ficou posicionada a 23,2 cm da extremidade engastada. Essa foi a única rede analisada do ponto de vista gráfico, por apresentar uma maior variação de momentos fletores, justamente por estar mais próximo ao engaste da viga em balanço, onde o momento fletor é máximo. As demais serviram para uma melhor visualização e compreensão dos fenômenos envolvidos. A Figura 4 mostra a relação entre o comprimento de onda medido e o momento fletor aplicado na região da FBG. Nessa situação a FBG ficou sujeita apenas à tração, ou seja, seu comprimento de onda será deslocado para comprimentos de ondas maiores.

Figura 4 – Comprimento de onda em função do momento fletor.



Fonte: Autoria própria.

Como resultado, encontrou-se uma reta com equação $\lambda = 1553,2545 + 0,01409 M$ e erros na ordem de 10^{-4} em cada coeficiente, sendo ainda o coeficiente de correlação 0,9998, conforme esperado pela equação (3). Assim, encontra-se uma sensibilidade de uma FBG ao momento fletor de aproximadamente 14,09 pm/Nm. O erro da sensibilidade foi uma incerteza combinada do desvio das medidas, do erro amostral t-student e do erro instrumental.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi encontrar uma relação entre o comprimento de onda de Bragg e o momento fletor. Após os devidos experimentos e análise de equações, pôde-se confirmar que existe uma relação linear entre o momento fletor e a variação do comprimento de onda de Bragg, quando utilizada uma haste de seção retangular e oca. Além disso, a sensibilidade ao momento fletor encontrada foi de aproximadamente 14,09 pm/Nm. A variação térmica durante o experimento não foi levada em consideração devido a ter ocorrido em ambiente

com temperatura controlada; entretanto é importante analisar esse efeito em trabalhos futuros.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e à minha família pelo apoio diário. Também agradeço ao professor Ricardo Canute pela oportunidade e orientação e ao professor e amigo Diego Fernandes, que me passou seus conhecimentos e me auxiliou neste trabalho. Além destes, sou grata à UTPR e ao CNPq, pela oportunidade de pesquisa.

REFERÊNCIAS

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. Ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2010.

CARVALHO, V. R. Qualidade de vida no trabalho. *In*: OLIVEIRA, O. J. (org.). **Gestão da qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Thomson, 2004. p. 45-74.

KASHYAP R. **Fiber Bragg Gratings**. 1.ed. San Diego: Academic Press, 1999.

FERNANDES, D. **Medição simultânea do índice de refração e da temperatura utilizando redes de Bragg em fibras multimodo**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: http://repositorio.utpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2776/1/CT_CPGEI_M_Fernandes%2C%20Diego_2017.pdf. Acesso em: 31 mar. 2019.

HECHT, E. **Optics**. 4.ed. Califórnia: Addison-Wesley, 2002.

HILL, K. O.; MELTZ, G. **Fiber Bragg grating technology fundamentals and overview**. *Journal of Lightwave Technology*, v. 15, n. 8, p. 1263-1276, 1997.

OTHONOS, A.; KALLI, Kyriacus. **Fiber Bragg grating gratings: Fundamentals and applications in telecommunications and sensing**. Boston: Artech House, 1999.

NASCIMENTO, P. F. **Sensores baseados em redes de bragg em fibras óticas para análise de movimentos mandibulares e forças de mordida**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: http://repositorio.utpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/2996/1/CT_CPGEI_M_Nascimento%2C%20Paula%20Fernandes%20do_2018.pdf. Acesso: 02 abr. 2019.