

Encapsulação e Caracterização de Sensores a fibra Ótica

Encapsulation and Characterization of Optical Fiber Sensors

RESUMO

Este trabalho apresenta resultados da produção e encapsulação de sensores baseados em macrocurvatura de fibra ótica utilizados para sensoriamento de pressão mecânica. Quatro sensores semelhantes, compostos por fibra de comunicação ótica em anel e encapsulados em material elastomérico foram submetidos a ensaios experimentais para análise dos espectros de transmissão detectados quando aplicadas pressões de até 8,49 N/cm² sobre os dispositivos. Foram identificadas duas regiões espectrais onde a intensidade ótica transmitida decresce linearmente com o aumento da pressão sobre o sensor e estabelecidas duas faixas dinâmicas operacionais distintas para os sensores. Os dispositivos desenvolvidos foram analisados sob condições de repetibilidade e reprodutibilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra ótica. Sensores óticos. Sensor de macrocurvatura.

Vinicius de Carvalho
vcarvalho@alunos.utfpr.edu.br

Prof. Dra. Marcia Muller
mmuller@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

ABSTRACT

This work shows results from the fabrication and encapsulation of fiber optic macro-bend based sensors used as pressure sensors. Four similar sensors embedded in elastomer material were submitted to mechanical pressures up to 8.49 N/cm². Two spectral regions where the optical intensity decreases linearly with the increase in the applied pressure were identified and two dynamic ranges of operation were established. The devices responses were analysed under repeatability and reproducibility conditions.

KEYWORDS: Optical Fiber. Optical Sensors. Macro-bend sensor.

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.



INTRODUÇÃO

A operação de sensores de macrocurvatura de fibra ótica baseia-se na detecção da atenuação do sinal ótico transmitido pela fibra, resultante de perdas de intensidade ótica induzidas por curvaturas. Estas perdas ocorrem devido ao acoplamento entre modos guiados e de radiação na região em que a fibra é curvada. Tais sensores são fáceis de fabricar e interrogados em intensidade o que os torna atraentes devido ao baixo custo de fabricação e interrogação. Sensores de macrocurvatura têm sido aplicados na detecção de diferentes parâmetros como pressão mecânica (WANG, 2005), voltagem (WANG, 2011), temperatura (MORALEDA, 2013) e índice de refração (WANG, 2009).

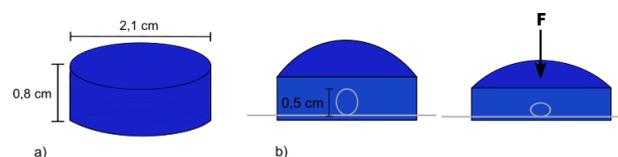
As aplicações práticas requerem a adequação dos dispositivos quanto aos parâmetros de operação, nesse sentido as características como propriedades térmicas e mecânicas do material encapsulante são determinantes para o sensoriamento. Além disso, a proteção do sensor em aplicações de monitoramento em construções ou dispositivos é assegurada pelo encapsulamento utilizado, justificando estudos que propõem encapsulamentos que solucionam problemas de ordem prática para a utilização de sensores óticos (HONG, 2016; KESAVAN, 2010; ZHOU, 2003).

A multiplexação de sensores a fibra ótica promove a redução de custos e a otimização do processo de sensoriamento (GRATTAN, 2000). Recentemente foi proposto um método para a multiplexação de sensores de pressão baseados em anéis de fibra ótica encapsulados em silicone (KAMIZI, 2019). O desempenho do sistema depende de características dos sensores como sensibilidade, e faixa de operação, que por sua vez são fortemente dependentes da geometria do sensor e do material encapsulante. Neste trabalho foram produzidos e caracterizados quatro sensores de macrocurvatura em fibra ótica. Os sensores encapsulados foram caracterizados quanto a sua resposta a pressões mecânicas em condições de repetibilidade e reprodutibilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

O sensor encapsulado consiste em um disco de borracha com aproximadamente 2,1 cm de diâmetro e espessura de 0,8 cm como mostra a figura 1a. Dentro há um anel de fibra ótica, com 0,5 cm de diâmetro, sendo que o plano formado pelo anel é perpendicular as bases do disco. Nesta configuração, uma pressão aplicada sobre a base do disco é transferida ao anel causando a alteração da sua forma, figura 1b.

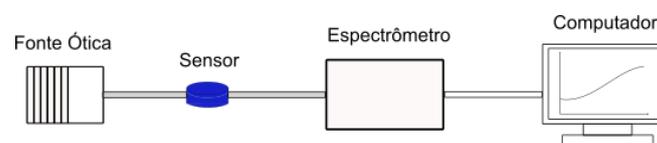
Figura 1 – (a) Sensor encapsulado, (b) Corte transversal no encapsulamento, mostrando a fibra posicionada e a deformação do anel quando pressionado.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Os ensaios experimentais foram realizados utilizando um aparato onde os sensores eram posicionados abaixo de um suporte de massas que pressionava uniformemente o sensor. As massas eram colocadas sobre o suporte e a luz de uma fonte de banda larga (LS-1 Tungsten halogen lamp, Ocean Optics, 360 a 2000 nm) transmitido pelo sensor era detectado por um espectrômetro UV-Vis a fibra ótica (HR4000, Ocean Optics). Como espectro de referência foi usado o espectro transmitido pelo sensor antes da aplicação das pressões sobre a sua superfície. A Fig. 2 mostra um diagrama do sistema de interrogação. As análises dos espectros foram realizadas com base na atenuação da intensidade ótica transmitida nos sensores. As massas que pressionavam foram alteradas sequencialmente.

Figura 2 – Representação do sistema experimental utilizado para os ensaios de coleta de dados.

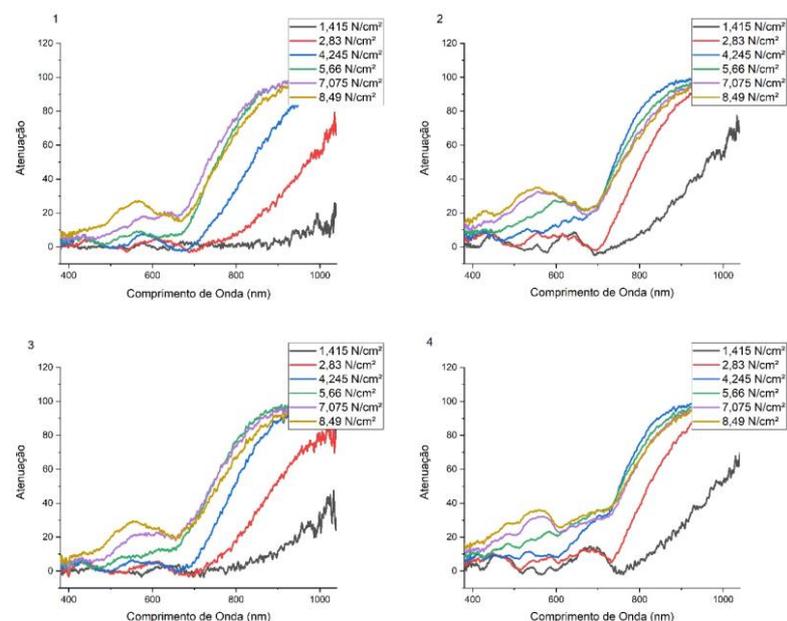


Fonte: Autoria Própria (2019)

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para verificação de reprodutibilidade dos sensores elaborados, são apresentadas na Figura 3 os espectros de quatro sensores semelhantes quando submetidos a pressões que variam de 1,415 N/cm² a 8,49 N/cm².

Figura 3 – Espectros de transmissão de quatro sensores semelhantes submetidos a diferentes pressões.



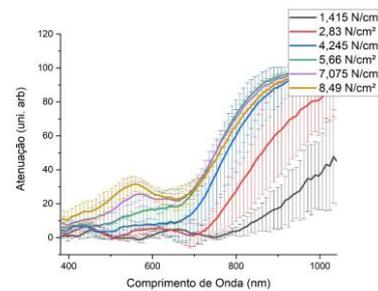
Fonte: Autoria própria (2019)

Apesar dos espectros mostrarem um comportamento semelhante quando da aplicação das diferentes pressões, são observadas diferenças espectrais atribuídas a dificuldade de reprodução na fabricação dos sensores. São vários os parâmetros que podem variar levemente de um sensor para o outro influenciando as respostas

dos dispositivos, entre eles o diâmetro do anel de fibra ótica, o posicionamento do anel no disco de silicone, as dimensões do disco.

Na Figura 4 são apresentados os espectros médios dos 4 sensores para cada pressão aplicada. As barras de erros representam os desvios padrões de cada espectro fornecendo uma indicação do grau de reprodutibilidade do processo de fabricação.

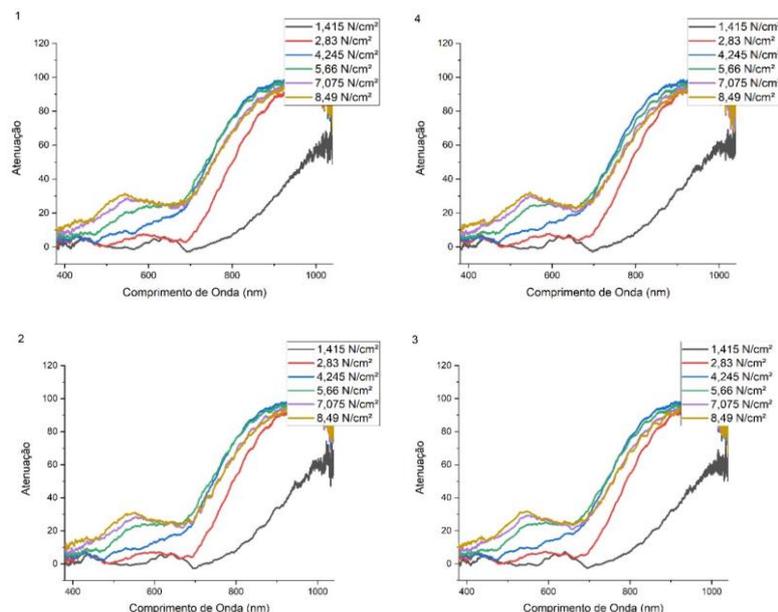
Figura 4 – Espectros médios dos quatro sensores para cada valor de pressão aplicada.



Fonte: Autoria própria (2019)

Para verificação da repetibilidade dos sensores, a Figura 5 mostra os espectros de transmissão obtidos com um único sensor submetido a quatro vezes, com intervalos de dez minutos entre os testes, a pressões que variaram de 1,415 N/cm² a 8,49 N/cm². No ensaio realizado com o sensor a pressão aplicada variou de 0 a 8,49 N/cm² com passos de 0,1415 N/cm².

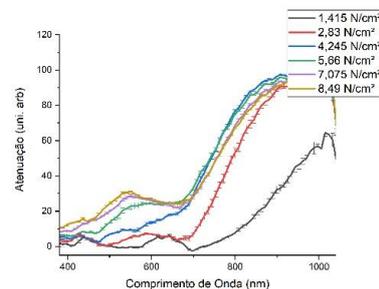
Figura 5 – Espectros de transmissão de um mesmo sensor em 4 testes realizados com intervalos de dez minutos.



Fonte: Autoria própria (2019)

A Figura 6 mostra os espectros de transmissão médios dos quatro testes realizados com o mesmo sensor submetido a pressões que variaram de 1,415 N/cm² a 8,49 N/cm². As barras de erros representam os desvios padrões de cada espectro fornecendo uma indicação do grau de repetibilidade do sensor.

Figura 6 – Espectros médios dos quatro sensores para cada valor de pressão aplicada.



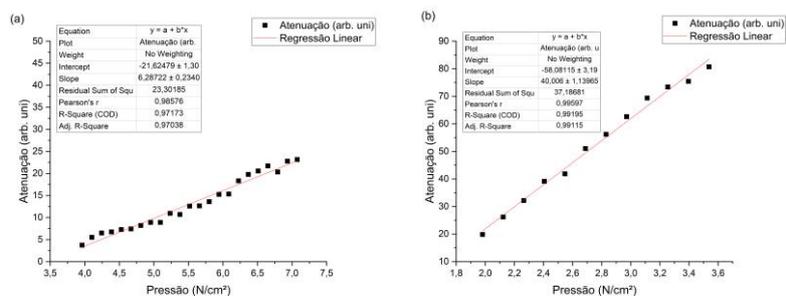
Fonte: Autoria própria (2019)

A atenuação é maior em faixas de comprimentos de onda altos, enquanto há menor perda de intensidade ótica em faixas menores. A sensibilidade do sensor foi avaliada em diferentes regiões do espectro. Duas faixas espectrais foram selecionadas para a análise, a faixa espectral entre 450 nm e 550 nm, e a faixa entre 750 nm e 850 nm. Foram escolhidos dois comprimentos de onda nas faixas espectrais selecionadas para construir curvas de resposta do sensor.

Para comprimentos de onda entre 450nm e 550nm, a resposta possui um comportamento aproximadamente linear para pressões entre 4 N/cm² e 7 N/cm². Para comprimentos de onda de 750nm a 850nm, a resposta pode ser aproximada por uma reta para pressões entre 2 N/cm² e 4 N/cm².

Curvas de resposta e calibração para cada faixa dinâmica de operação são apresentadas nos gráficos da Figura 7.

Figura 7 – Curvas de resposta e de calibração para o sensor interrogado em (a) 500,01 nm e (b) 800,1 nm



Fonte: Autoria própria (2019)

Em 500,01nm, na faixa dinâmica operacional verificada, de 4 N/cm² a 7 N/cm², o coeficiente angular da regressão linear das atenuações é $6,29 \pm 0,23$ unidades de Intensidade/ (N/cm²), apontando a sensibilidade. Em 800,1nm, a faixa dinâmica analisada foi entre 2 N/cm² e 3,5 N/cm² e o coeficiente angular da reta de ajuste é $40,01 \pm 1,14$ unidades de Intensidade/ (N/cm²), configurando a sensibilidade do sensor para esta faixa de operação.

Desta forma são identificadas duas faixas dinâmicas distintas de operação para o sensor e os comprimentos de onda que devem ser usados para a interrogação do sensor em intensidade.

CONCLUSÕES

A análise de dois comprimentos de onda no espectro de transmissão do sensor apontou duas faixas dinâmicas operacionais distintas onde o aumento das atenuações era aproximadamente linear com o acréscimo de pressão sobre o sensor. Isso indica a conveniência da escolha de faixas espectrais para sensoriamento específicas e adequadas de acordo com a faixa dinâmica de operação dos dispositivos. Nesse sentido, apresentamos duas sensibilidades distintas e as respectivas faixas dinâmicas sugeridas para o dispositivo com encapsulamento proposto.

Os ensaios apontaram repetibilidade adequada nos espectros de transmissão, isso pôde ser verificado em vista dos erros associados às atenuações detectadas em um mesmo sensor. A dificuldade de reprodutibilidade pode ser contornada com aperfeiçoamento da técnica de elaboração dos sensores, garantindo a reprodução com exatidão no diâmetro e posicionamento do anel.

Em trabalhos futuros a análise apresentada propõe verificar a ampliação da faixa dinâmica operacional e diminuição da sensibilidade nos sensores que serão elaborados com encapsulamento de maior rigidez.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio financeiro do CNPq.

REFERÊNCIAS

GRATTAN, K. T. V.; SUN, T. Fiber optic sensor technology: an overview. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 82, n. 1-3, p. 40-61, 2000.

HONG, Cheng-Yu et al. Application of FBG sensors for geotechnical health monitoring, a review of sensor design, implementation methods and packaging techniques. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 244, p. 184-197, 2016.

KAMIZI, Marcos Aleksandro et al. Multiplexing Optical Fiber Macro-Bend Load Sensors. **Journal of Lightwave Technology**, 2019.

KESAVAN, K. et al. Experimental studies on fiber optic sensors embedded in concrete. **Measurement**, v. 43, n. 2, p. 157-163, 2010.

MORALEDA, Alberto et al. A temperature sensor based on a polymer optical fiber macro-bend. **Sensors**, v. 13, n. 10, p. 13076-13089, 2013.

WANG, Pengfei et al. Macrobending single-mode fiber-based refractometer. **Applied optics**, v. 48, n. 31, p. 6044-6049, 2009.

WANG, Pengfei et al. A fiber-optic voltage sensor based on macrobending structure. **Optics & Laser Technology**, v. 43, n. 5, p. 922-925, 2011.

WANG, Wei-Chih et al. A shear and plantar pressure sensor based on fiber-optic bend loss. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v. 42, n. 3, 2005.

ZHOU, Zhi et al. Techniques of advanced FBG sensors: Fabrication, demodulation, encapsulation, and their application in the structural health monitoring of bridges. **Pacific Science Review**, v. 5, n. 1, p. 116-121, 2003.