

Caracterização de sensores a fibra ótica encapsulados em elastômeros

Characterization of fiber optic sensors encapsulated in elastomers

RESUMO

O trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia para caracterização de sensores a fibra ótica baseados em macrocurvatura. Dois dispositivos sensores foram fabricados através do encapsulamento da fibra ótica em anel em material elastomérico com parâmetros de rigidez diferentes (material puro e com adição de quartzo). Também foram desenvolvidos equipamentos experimentais de pressão e de deformação relativa para submeter os sensores a ensaios elásticos. Com isso, foi possível caracterizar a sensibilidade e faixa dinâmica de operação dos dispositivos sensores, além de estimar o módulo de Young dos materiais encapsulantes.

PALAVRAS-CHAVE: Sensor a fibra ótica. Modulo de Young. Materiais.

ABSTRACT

This work shows the development of a methodology for characterization of macro-bend optical fiber sensors. Two sensing devices were encapsulated in elastomers with two different elastic properties (pristine and quartz doped material). Experimental pressure and compression strain apparatus were developed to subject the sensors to experimental tests. It was possible to characterize the sensors sensitivities and dynamic range, as well as to estimate of the young modulus of the encapsulating materials.

KEYWORDS: Optical fiber sensor. Young modulus. Materials.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

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



INTRODUÇÃO

Os sensores de macrocurvatura a fibra ótica baseiam-se na detecção da atenuação do sinal ótico transmitido pela fibra, resultante de perdas de intensidade induzidas por curvaturas. Estas perdas ocorrem devido ao acoplamento entre modos guiados e de radiação na região em que a fibra é curvada. Estes dispositivos são atraentes devido ao baixo custo de fabricação e têm sido aplicados na detecção de diferentes parâmetros como pressão (WANG *et. Al*, 2005), temperatura (KROHN, 2000) e índice de refração (MORALEDA, 2013).

A rigidez do encapsulamento utilizado nestes sensores é responsável por influenciar nos parâmetros de operação, tais como faixa dinâmica e sensibilidade. Sendo assim é adequado analisar os materiais encapsulantes para viabilizar adequações de acordo com a aplicação pretendida.

Quando aplicadas tensões mecânicas (σ) em determinados materiais, deformações relativas (ε) ocorrem de forma proporcional, de acordo com a Eq. (1). A constante de proporcionalidade entre elas é chamada de módulo de elasticidade ou módulo de Young (G).

$$\sigma = G\varepsilon \quad (1)$$

A deformação relativa é definida pela Eq. (2), onde L_0 é o comprimento inicial antes da aplicação da carga, e L é o comprimento final.

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (2)$$

O objetivo do trabalho é desenvolver uma metodologia para analisar sensores a fibra ótica encapsulados baseados em macrocurvatura, que possibilite a verificação da operação dos dispositivos. Para isso, foram fabricados equipamentos experimentais para realização de ensaios com controle de pressão e deformação em dois sensores com diferentes materiais encapsulantes. Com os dados analisados foi possível elaborar curvas de calibração que demonstram a sensibilidade e faixa dinâmica dos sensores. Também foi possível estimar o módulo de Young dos materiais encapsulantes.

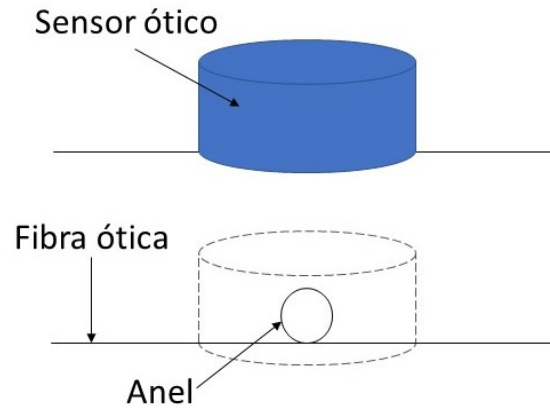
METODOLOGIA

Os dispositivos sensores foram fabricados encapsulando a fibra ótica em formato de anel em material elastomérico de silicone. Foram fabricados dois sensores com diferentes concentrações de pó de quartzo no silicone para alterar os padrões de rigidez do material. As concentrações de quartzo utilizadas foram de 0% (silicone puro) e 33% da composição do material encapsulante.

O anel na fibra ótica feito com diâmetro de $(4,00 \pm 0,01)$ mm foi alinhado perpendicularmente à base do molde cilíndrico e posicionado na parte central do mesmo, como mostra a Figura 1. A borracha (azul) misturada ao catalisador foi adicionada ao molde com diâmetro de base de $(16,00 \pm 0,01)$ mm e altura

de $(11,00 \pm 0,01)$ mm. Aguardou-se o tempo de secagem da borracha para realização dos testes.

Figura 1 - Diagrama esquemático do sensor.

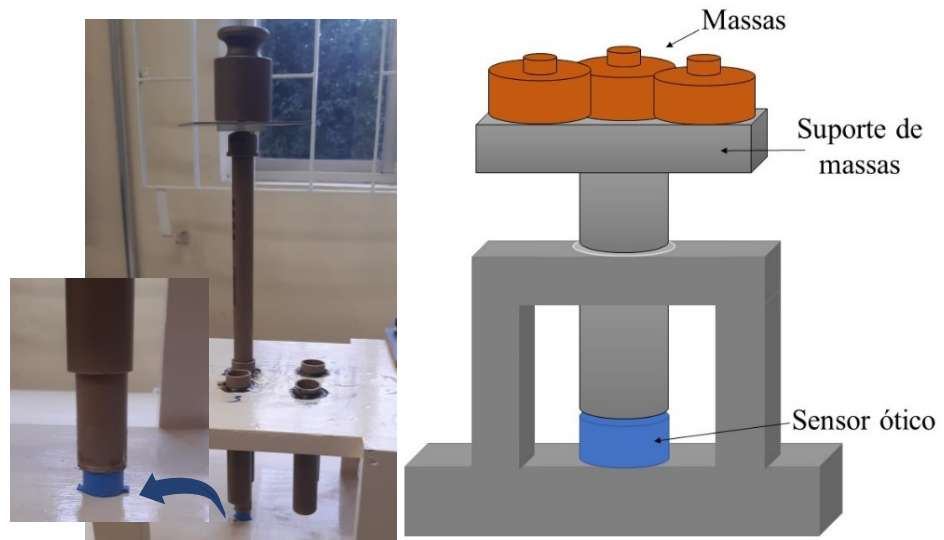


Fonte: Autoria própria (2020).

Para a realização dos ensaios experimentais foi utilizada uma fonte de luz de banda larga (LS-1 Tungsten halogen lamp, Ocean Optics, 360 a 2000 nm), conectada ao sensor ótico e interrogado por um espectrômetro UV-Vis a fibra ótica (HR4000, Ocean Optics). O computador conectado ao espectrômetro exibe o espectro de atenuação (razão entre a intensidade de luz detectada na saída e a intensidade de luz total incidente) em função de cada comprimento de onda.

Testes de pressão mecânica foram realizados para caracterizar a resposta dos sensores. Um equipamento experimental foi desenvolvido para pressionar uniformemente o sensor, como mostra a Figura 2. Massas conhecidas foram colocadas sobre o suporte e o espectrômetro detectou a atenuação do sinal ótico para cada pressão aplicada. As pressões variaram de $(8,19 \pm 0,35)$ kPa a $(56,93 \pm 0,35)$ kPa, com passo de $(2,44 \pm 0,35)$ kPa. Como espectro de referência, foi utilizado o espectro transmitido pelo sensor antes da aplicação das pressões.

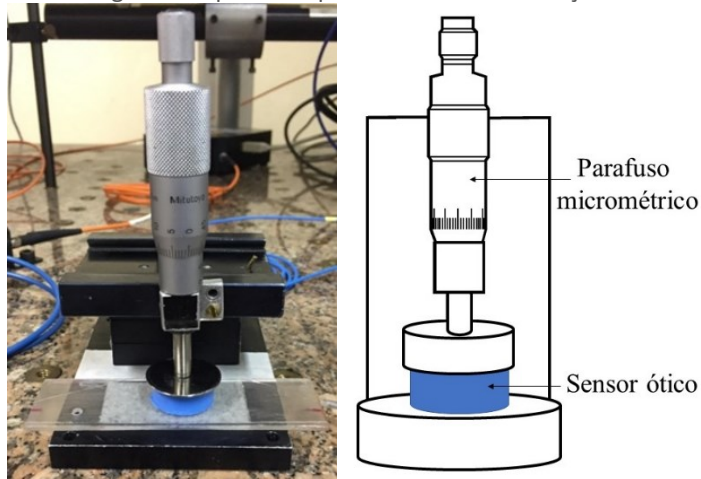
Figura 2 - Aparelho experimental de pressão.



Fonte: Autoria própria (2020).

Além dos testes de pressão, foram realizados testes de deformação relativa. Para isso, foi desenvolvido um aparelho experimental acoplado a um parafuso micrométrico, utilizado para comprimir uniformemente a borracha conforme a Figura 3. Foram feitas deformações de $(19,00 \pm 0,1) \text{ m}\epsilon$ a $(146,79 \pm 0,1) \text{ m}\epsilon$ com passos de $(9,18 \pm 0,1) \text{ m}\epsilon$. Através do monitoramento do espectro, foram obtidos dados de atenuação para cada deformação realizada.

Figura 3 - Aparato experimental de deformação.

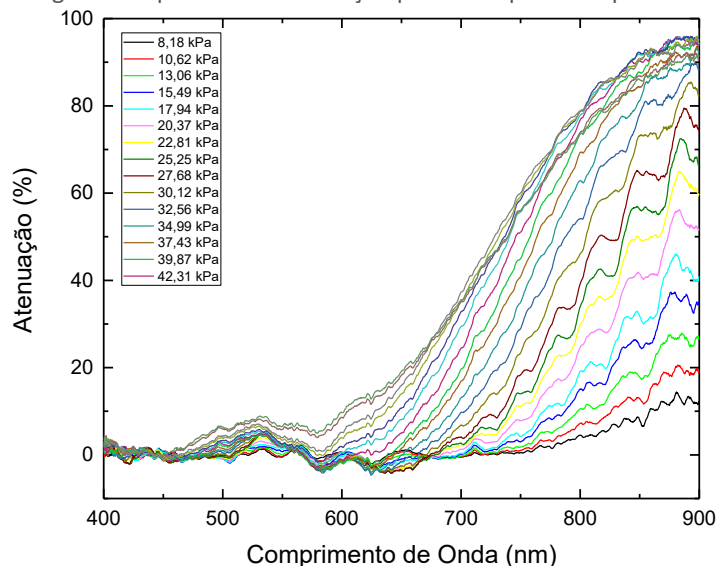


Fonte: Autoria própria (2020).

RESULTADOS

A Figura 4 apresenta os espectros de atenuação típicos de um sensor baseado em macrocurvatura para apenas algumas das pressões aplicadas.

Figura 4. Espectros de atenuação para cada pressão aplicada.

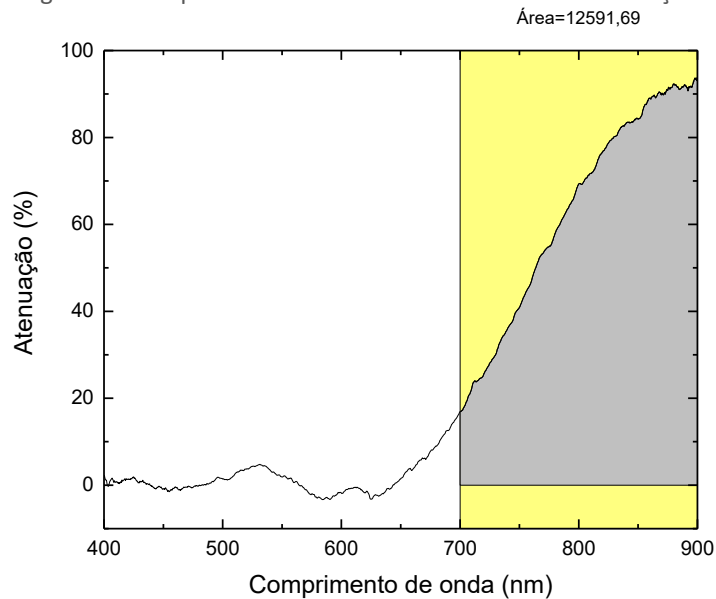


Fonte: Autoria própria (2020).

A modificação na intensidade ótica transmitida, como apresenta o gráfico da Figura 4, tem dependência com o comprimento de onda da luz e é justificada por perdas devido à curvatura e ao acoplamento de *whispering gallery modes* (WGM) ao núcleo da fibra (KAMIZI *et. Al*, 2019).

A análise da resposta do sensor é realizada através do cálculo da área sob a curva referente a cada pressão aplicada, tomando como linha de base a atenuação quando não há aplicação de força. A região analisada foi a banda espectral entre 700 nm a 900 nm, onde a atenuação é dependente principalmente das perdas por curvatura da fibra. A Figura 5 exemplifica a análise realizada para uma pressão de 39,48 kPa sobre um sensor.

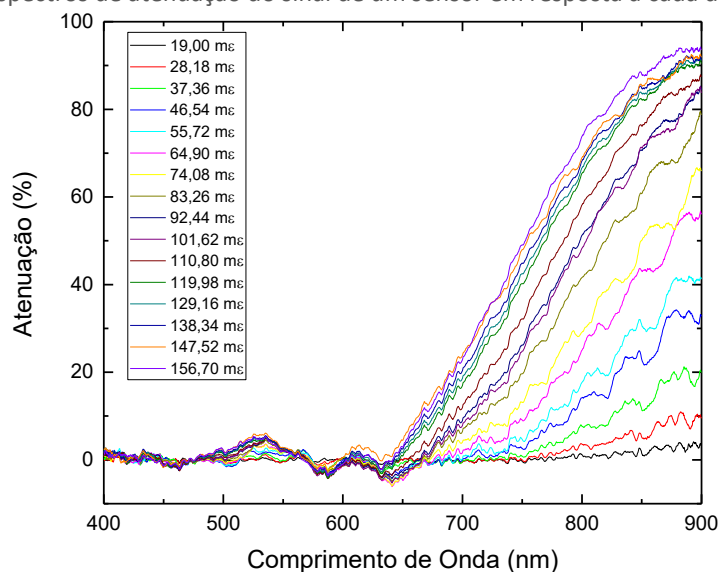
Figura 5. Exemplo da análise de área sob a curva de atenuação.



Fonte: Autoria própria (2020).

O tratamento dos dados para o teste de deformação também é realizado por meio do cálculo da área sob a curva de resposta do sensor. A cada passo que o parafuso micrométrico comprime o sensor, o espectro de resposta mostra uma atenuação diferenciada. A Figura 6 mostra os espectros de atenuação para algumas das compressões aplicadas, para o sensor com 0% de quartzo.

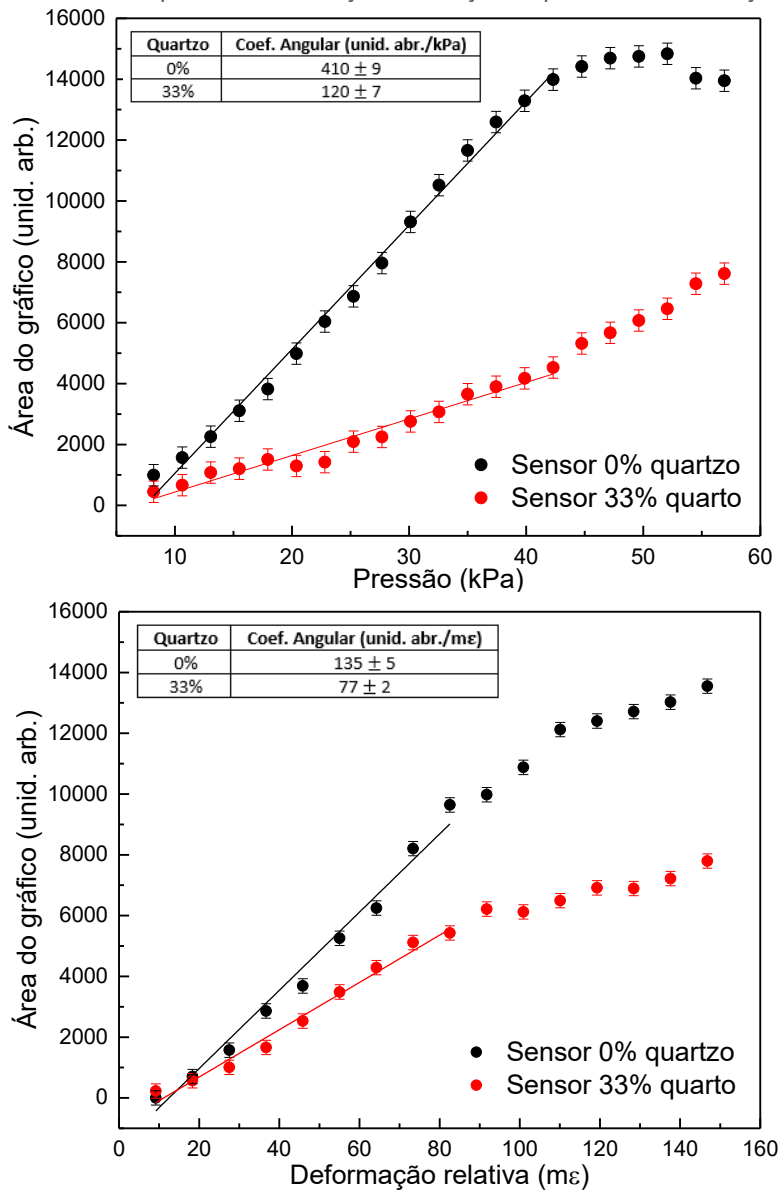
Figura 6. Espectros de atenuação do sinal de um sensor em resposta à cada deformação.



Fonte: Autoria própria (2020).

É possível determinar regiões de resposta linear onde a borracha atua em regime elástico, nas quais retas foram ajustadas, conforme a Figura 7.

Figura 7. Áreas sob o espectro de atenuação em função da pressão e deformação relativa.



Fonte: Autoria própria (2020).

Verifica-se que o coeficiente angular da reta sofre alteração relacionada ao acréscimo de quartzo na composição da borracha, de modo que a sensibilidade de operação dos dispositivos é relacionada com a rigidez do material encapsulante.

Como um exemplo de aplicação dos dispositivos, é possível estimar o módulo de Young dos materiais encapsulantes através da razão entre os coeficientes angulares das retas das figuras 7, segundo a Eq. (1).

A Tabela 1 apresenta os valores das sensibilidades à pressão e dos módulos de Young associados à cada material utilizado no encapsulamento dos sensores. Os resultados obtidos estão dentro da faixa de valores de módulo de Young para borrachas de silicone de acordo com o site Matweb.

Tabela 1 – Sensibilidade dos sensores à pressão e seus respectivos módulos de Young.

Concentração de quartzo (%)	Sensibilidade (u.a./Pa)	Módulo de Young (MPa)
0	0,41 ± 0,01	0,33 ± 0,01
33	0,12 ± 0,01	0,66 ± 0,04

Fonte: Autoria própria (2020).

CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido possibilita averiguar a operação de dispositivos sensores baseados em macrocurvatura a fibra ótica, com diferentes materiais encapsulantes. Foram apresentadas as características físicas dos sensores elaborados especialmente para o estudo, determinando regiões de linearidades, sensibilidades à pressão e módulo de Young associados a cada material.

Em continuidade ao trabalho, pretende-se analisar como o diâmetro da curvatura do anel pode influenciar na resposta do sensor.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro recebido do CNPq e Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS

WANG, W. C.; LEDOUX, W. R.; SANGEORZAN, B. J.; REINHALL, P. G. "A shear and plantar pressure sensor based on fiber-optic bend loss," **Journal of Rehabilitation Research & Development**, vol. 42, n. 3, pp. 315-326, mai./jun. 2005, doi: 10.1682/jrrd.2004.07.0076.

KROHN, D. A. **Fiber optic sensors: fundamentals and applications**. Research Triangle, NC: ISA, 2000.

MORALEDA, A. T.; GARCÁ, C. V.; ZABALA, J. Z.; ARRUE, J. "A temperature sensor based on a polymer optical fiber macro-bend," **Sensors**, vol. 13, pp. 13076-13089, set. 2013, doi:10.3390/s131013076.

KAMIZI, M. A.; LUGARINI, D.; FUSER, R.; NEGRI, L. H.; FABRIS, J. L.; MULLER, M. "Multiplexing optical fiber macro-bend load sensors," **Journal of Lightwave Technology**, vol. 37, pp. 4858-4863, set. 2019, doi: 10.1109/JLT.2019.2924142.

Overview of materials for silicone rubber. Disponível em: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cbe7a469897a47ed a563816c86a73520&ckck=1>. Acesso em: 20 abr. 2020.