



Caracterização de sensores de macrocurvatura encapsulados em elastômero

Characterization of Macrocurvature sensors encapsulated in elastomer

Gabriel Felipe da Silva Ferreira¹, Marcia Muller²

RESUMO

Este estudo aborda o desenvolvimento de sensores de fibra ótica, com foco em sensores de macrocurvatura encapsulados. Os sensores de macrocurvatura em fibra ótica apresentam algumas vantagens com relação aos sensores tradicionais, como imunidade à interferência eletromagnética, isolamento elétrico, alta sensibilidade e a possibilidade de multiplexação. As macrocurvaturas utilizadas consistem em anéis de fibra ótica com diâmetro de $(1,0 \pm 0,1)$ cm encapsulados com borracha de silicone SC1000. Foi fabricado um sensor contendo somente um anel de fibra e outro contendo 5 anéis produzidos em série num mesmo segmento de fibra ótica. Testes de distensão e torção foram realizados para avaliar a viabilidade de uso dos sensores para a monitoração destes parâmetros. Os resultados revelaram padrões de atenuação de intensidade da luz transmitida em diferentes faixas espectrais dependentes da magnitude das deformações. Os resultados obtidos indicam a possibilidade de uso destes sensores em aplicações nas quais seja necessária a detecção de deformações associadas com a distensão e torção. Trabalhos futuros são previstos para dar continuidade as pesquisas.

PALAVRAS-CHAVE: Fibra ótica; Macrocurvatura; Sensor.

ABSTRACT

This study addresses the development of optical fiber sensors, focusing on encapsulated macro-curvature sensors. Compared with traditional sensors, macro-curvature sensors offer advantages such as immunity to electromagnetic interference, electrical isolation, high sensitivity, and the possibility of multiplexing. The macro-curvatures are fiber rings with a diameter of $(1,0 \pm 0,1)$ cm encapsulated with SC1000 silicone rubber. One of the fabricated sensors has a single optical fiber ring, and the other contains five optical fiber rings produced in series in the same optical fiber segment. Elongation and torsion tests were conducted to assess the feasibility of using these sensors for monitoring these parameters. The results revealed attenuation patterns in the intensity of the transmitted light at different spectral ranges depending on the magnitude of the deformations. The results indicate the potential use of these sensors in applications requiring detecting deformations associated with elongation and torsional forces. Future works are planned to continue this research.

KEYWORDS: Optical fiber; Macrocurvature; Sensor.

INTRODUÇÃO

Os sensores de fibra ótica tem sido aplicados para a medição de diversos parâmetros visando aplicações industriais, segundo García *et al* (2015). Estes sensores apresentam vantagens atribuídas as propriedades da própria fibra ótica em relação a outros tipos de sensores, como imunidade a interferência eletromagnética, isolamento elétrico, baixo custo, flexibilidade, alta sensibilidade, ampla faixa de parâmetros de monitoramento, e em especial, a utilização de sensores multiplexados (CHERIN, 1983). Kamizi *et al.* (2019) apresentam um estudo sobre a multiplexação de sensores de macrocurvatura conectados em série e sua utilização em sensoriamento *quasi*-distribuído na identificação da posição da aplicação de forças. No trabalho, os sensores produzidos em fibra monomodo padrão de comunicações operam em regime multimodo na região espectral do visível. O fato das

¹ Bolsista do CNPq. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: gferreira.2017@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 1008824939008208.

² Docente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: marcia.muller.br@gmail.com. ID Lattes: 7757984300428347.



fibras monomodo padrão de comunicações serem mais acessíveis e amplamente disponíveis, favorece a aplicação desses sensores em diferentes setores.

Os sensores de fibra ótica de macrocurvatura operam com base na mudança da sua geometria pela ação de parâmetros externos, o que induz alterações espectrais na luz transmitida pelo dispositivo. A maior parte da energia modal em uma fibra ótica é propagada no núcleo, mas parte dela é encontrada nas camadas externas como um campo eletromagnético evanescente. Quando curvada, a luz guiada pode ser atenuada devido as perdas de energia para a casca e meio externo. Em fibras com camadas de revestimento externo, ocorrem reflexões nas interfaces entre as diferentes camadas. A luz refletida que é reacoplada para o núcleo interfere com os modos guiados gerando ressonâncias conhecidas como Modos de Galeria Sussurrantes (WGM) (WANG; FARRELL; FREIR, 2005; HARRIS; CASTLE, 1986). A base para o funcionamento dos sensores de macrocurvatura é a forte dependência entre estes efeitos e a geometria da macrocurvatura.

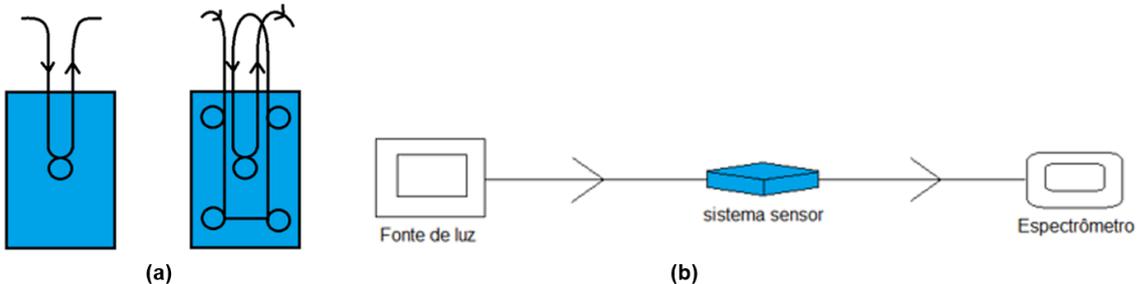
O objetivo desta pesquisa é a produção e caracterização desses sensores, para avaliar a sua resposta quando submetidos a estímulos de distensão e torção. Através da geometria escolhida em forma de uma manta flexível, o sensor poderá futuramente ser aplicado, por exemplo, em sensoriamento tátil no revestimento de interfaces e estruturas mecânicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois sensores para realização dos testes de distensão e torção. O primeiro sensor conta com apenas um anel, e o segundo consiste num conjunto de 5 anéis de fibra ótica conectados em série. Os sensores baseiam-se em macrocurvaturas de $(1,0 \pm 0,1)$ cm de diâmetro, sendo que no segundo, após a encapsulação, as macrocurvaturas estão simetricamente distribuídas numa manta flexível.

A encapsulação dos anéis seguiu o procedimento desenvolvido em trabalhos anteriores, como Carvalho (2022), utilizando borracha de silicone SC1000 e um molde retangular com dimensões de 10,5 cm x 7,5 cm x 0,7 cm. Os diagramas da figura 1(a) mostram o posicionamento dos anéis de fibra ótica na manta. Para a interrogação, os sensores foram conectados a uma fonte de luz branca (LS-1 Tungsten halogen lamp, 360 nm - 2 μ m, Ocean Optics) e a um espectrômetro UV-VIS (HR4000, Ocean Optics). É importante ressaltar que a interrogação desses sensores ocorre por meio da análise dos espectros de luz transmitida pelo sensor na região do visível. Embora os sensores utilizem fibras óticas padrão monomodo de comunicações, eles operam em um regime multimodo no espectro visível. Na figura 1(b) é apresentado um diagrama esquemático do sistema de interrogação. A luz visível da banda larga acoplada a fibra sofre alterações espectrais ao ser transmitida pelas macrocurvaturas devido as perdas por atenuação e aos WGM. O espectro da luz transmitida pelo sensor em repouso é detectado pelo espectrofotômetro UV-VIS e usado como referência do sistema. Devido aos estímulos aplicados ao sensor, cada deformação realizada acaba por promover alterações espectrais na luz transmitida, que são usadas no sensoriamento.

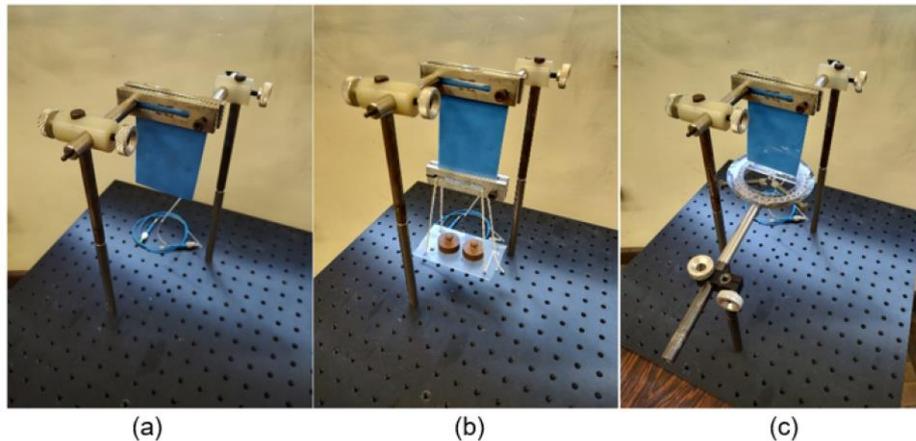
Figura 1- Diagramas esquemáticos mostrando: (a) O posicionamento das macrocurvaturas no sensor; (b) O sistema de interrogação.



Fonte: Autoria própria (2023).

A figura 2 apresenta as montagens experimentais elaboradas para os ensaios de distensão e torção, nas quais o sensor é suspenso pelo lado com 7,5 cm de comprimento e estímulos são aplicados ao outro lado do sensor. Estas montagens foram desenvolvidas em conjunto com outro estudante de iniciação científica do grupo. Para o ensaio de distensão, uma plataforma de acrílico foi empregada como elemento de suporte de cargas com massas variando de 20 g a 2000 g. As três primeiras medições foram realizadas com massas de 20 g, 40 g e 60 g, seguidas por incrementos de 100 g, culminando na marca de 2000 g. Para o ensaio de torção, foram empregados dois transferidores, um deles conectado ao sistema sensor e o outro utilizado como ponto de referência, firmemente fixado em uma plataforma, de modo a nivelar as alturas.

Figura 2 – Montagem experimental elaborada (a) Manta suspensa; (b) Teste de Distensão; (c) Teste de torção.



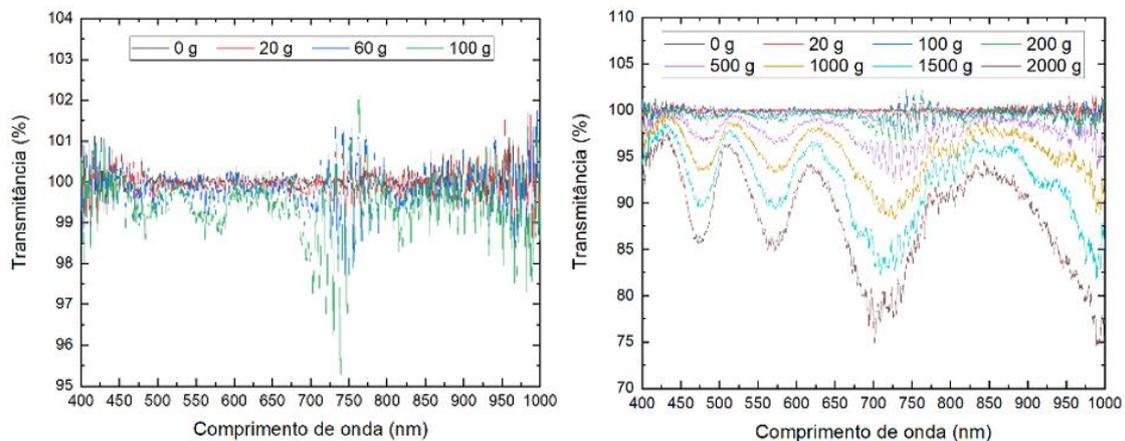
Fonte: Autoria própria (2023).

No ensaio de torção, os dois transferidores já acoplados foram cuidadosamente alinhados e centralizados em torno de seu eixo vertical. As medições foram então conduzidas mediante a aplicação de torções no sistema sensor, com os estímulos sendo aplicados na base inferior do dispositivo, tendo como ponto de referência o transferidor fixado à plataforma. As medições foram realizadas em incrementos de 5 graus, tendo o sensor em seu estado de repouso como referência.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

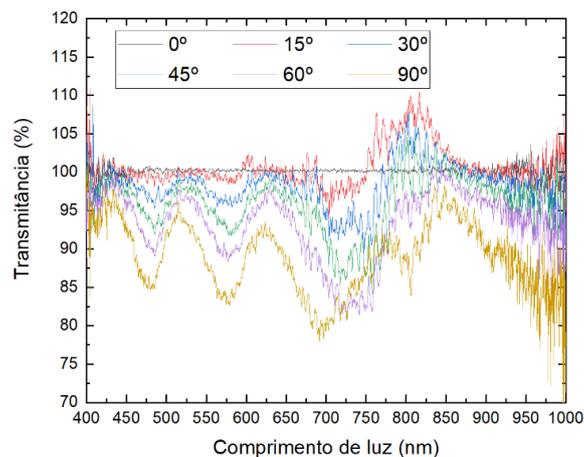
As figuras 3 e 4 apresentam amostras dos resultados obtidos com o sensor contendo apenas 1 anel de fibra ótica. Para todas as magnitudes de distensão aplicadas ao sensor, os espectros apresentam os mesmos vales de atenuação de intensidade, sendo que quanto maior a deformação maior é a amplitude das atenuações. Além disso, observa-se um deslocamento dos vales de atenuação para menores comprimentos de onda com o aumento da distensão. O sensor foi capaz de detectar uma elongação resultante da aplicação de cargas de apenas 20 g.

Figura 3 – Espectros de transmissão do sensor com 1 anel de fibra sujeito a distensões com diferentes magnitudes.



Fonte: Autoria própria (2023)

Figura 4 - Espectros de transmissão do sensor com 1 anel de fibra submetido a torções no sentido horário.



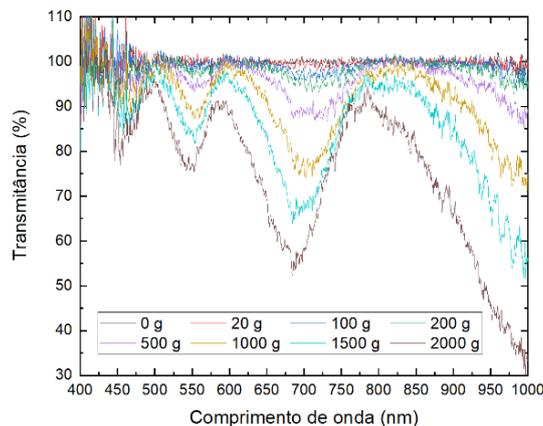
Fonte: Autoria própria (2023).

Testes de repetibilidade realizados mostram uma dificuldade do sensor de retornar a sua condição inicial após a aplicação de cargas de 1500 g a 2000 g. No entanto, para



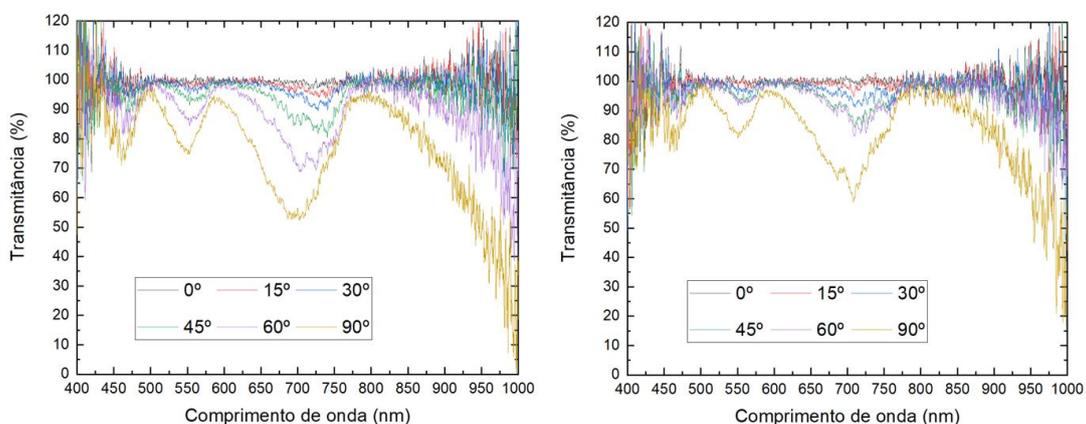
cargas inferiores o sensor apresentou boa repetibilidade. A figura 4 mostra que para todas as magnitudes de torção no sentido horário aplicados ao sensor, os espectros apresentam os mesmos vales de atenuação de intensidade. Novamente observa-se um aumento na amplitude das atenuações e um deslocamento dos vales de atenuação para menores comprimentos de onda com o aumento da deformação. Apesar dos vales serem na mesma região espectral para os dois tipos de deformação, os espectros carregam diferenças significativas na região entre 750 nm e 900 nm. Uma vez que os resultados obtidos com o sensor contendo apenas um anel indicaram a possibilidade de detecção de distensões e torções, o próximo passo consistiu na caracterização do sensor contendo 5 anéis de fibra ótica conectados em série. Nesta configuração o sinal transmitido pelo conjunto contém as informações de todas as macrocurvaturas. A figura 5 mostra os espectros de intensidade de luz devido a distensão do do sensor com 5 anéis conectados em série. Novamente surgem vales no espectro de transmissão cujas amplitudes estão relacionadas com a magnitude das deformações. As diferenças espectrais observadas quando o sensor com 5 anéis é submetido a torção, Figura 6, indicam a possibilidade de identificação não só da magnitude da torção como do sentido em que ela ocorre.

Figura 5 – Espectros de transmissão do sensor contendo 5 anéis de fibra sujeito a distensões variadas.



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 6 - Espectros de transmissão do sensor contendo 5 anéis de fibra sujeito a torção: a) No sentido horário; b) No sentido anti-horário.



Fonte: Autoria própria (2023).



CONCLUSÃO

O encapsulamento do sensor ofereceu proteção mecânica a fibra que permitiu a realização dos ensaios com boa repetibilidade do sensor para cargas inferiores a 1500 kg. A sensibilidade dos sensores permitiu a detecção de uma carga mínima de 20g nos ensaios de distensão. As respostas diferentes do sensor com 5 anéis a torções com o mesmo ângulo porém em diferentes direções, indicam a possibilidade do seu uso na identificação da direção da torção aplicada.

Como esperado, os espectros gerados por um único anel e por um conjunto de cinco anéis apresentam diferenças para as mesmas deformações.

A continuidade das pesquisas está prevista visando obter as curvas de resposta dos sensores aos parâmetros físicos, a resolução, e estudo para a adequação da faixa dinâmica de operação. Também pretende-se explorar outras configurações de macrocurvaturas e outras dimensões da encapsulação.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq pelo auxílio financeiro.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, V. de. **Sistema de mapeamento de força com sensores de macrocurvatura em fibra ótica multiplexados**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

GARCÍA, I. *et al.* Optical fiber sensors for aircraft structural health monitoring. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 15, n. 7, p. 15494–15519, 2015.

HARRIS, A.; CASTLE, P. Bend loss measurements on high numerical aperture single-mode fibers as a function of wavelength and bend radius. **Journal of Lightwave Technology**, IEEE, v. 4, n. 1, p. 34–40, 1986

KAMIZI, M. A. et al. Multiplexing optical fiber macro-bend load sensors. **Journal of Lightwave Technology**, IEEE, v. 37, n. 18, p. 4858–4863, 2019.

WANG, Q.; FARRELL, G.; FREIR, T. Theoretical and experimental investigations of macro-bend losses for standard single mode fibers. **Optics Express**, Optical Society of America, v. 13, n. 12, p. 4476–4484, 2005.