

# Sensor de Deformações à Fibra Óptica

William dos Santos Fegadolli<sup>1</sup>, José Edimar Barbosa Oliveira<sup>1</sup> e Vilson Rosa de Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Brasil <sup>2</sup>Instituto de Estudos Avançados – IEAv, Brasil  
Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – São José dos Campos - São Paulo – Brasil. CEP: 12228-900.

**Resumo** - Este trabalho apresenta a configuração de um sensor de deformações utilizando uma fibra óptica plástica e de baixo custo, o respectivo sensor foi projetado de forma a ser utilizado em várias aplicações. Os resultados obtidos mostram que o sensor apresentado pode atingir uma resolução de medição da ordem de 0,1V/Kgf e a tomada de decisão, para determinadas aplicações, inicia-se a partir de uma deformação equivalente a uma força de 2Kgf.

**Palavras chaves** — sensor a fibra óptica, sensor anti-esmagamento, perdas por curvaturas.

## I. INTRODUÇÃO

Dispositivos e sensores à fibra óptica tem possibilitado a realização de uma expressiva série de aplicações, tais como: medições de temperatura, aceleração, deformações e esmagamento, dentre outras aplicações [1]. Neste trabalho, apresenta-se um sensor de deformações utilizando uma fibra óptica plástica, de baixo custo, a ser utilizado em diversas aplicações que envolvam deformações ou esmagamentos de um elemento sensitivo, tais como: o controle de peso em uma aeronave, o monitoramento da presença de indivíduos em movimento e proteção contra esmagamento ou deformações, dentre outras aplicações.

A sensibilidade do dispositivo ao esmagamento é baseada no princípio de perdas induzidas originadas por pequenas curvaturas na fibra óptica.

O sensor proposto é constituído de dois sistemas: um mecânico e um eletrônico. O sistema mecânico consiste em um dispositivo sensitivo que converte força, oriunda de um esmagamento ou deformação, em uma variação da intensidade óptica guiada pela fibra óptica. Por outro lado, o sistema eletrônico é responsável pela detecção, conversão optoeletrônica e processamento eletrônico do sinal “modulado” a partir de a deformação, preparando-o para aplicações desejadas.

O dispositivo proposto foi preparado para três diferentes sinais eletrônicos resultantes, os quais serão discutidos nas próximas secções. A fig. 1 descreve o sensor em blocos. O bloco 1 consiste no sistema mecânico responsável em “modular” a intensidade luminosa por meio da curvatura induzida na fibra óptica. Os blocos 2 e 3 são dois sistemas eletrônicos, que unificados são responsáveis pela detecção da intensidade óptica e pelo processamento eletrônico de sinal, respectivamente.



Fig. 1: Representação do sistema em blocos

A etapa eletrônica consiste em detectar a presença de esmagamento, processar o sinal detectado e então fornecer a saída do sistema um sinal elétrico discreto no domínio do tempo, caso o sensor presencie esmagamento ou não. Obviamente, considera-se a força de esmagamento necessária para que o sensor tome a decisão de liberar o disparo do sinal eletrônico (0 ou 1).

Este trabalho se encontra organizado da seguinte forma: Na seção II, apresentam-se conceitos de funcionamento do sistema mecânico que modula a intensidade óptica. Na seção III, apresentam-se detalhes de funcionamento do sistema eletrônico utilizado. Na seção IV, apresentam-se os resultados experimentais obtidos. Finalmente, na última seção, apresentam-se as conclusões.

## II. SISTEMA MECÂNICO

É muito bem conhecido na literatura que na ocorrência de curvaturas em uma fibra óptica podem ser originados modos de propagação de ordem superior e mais fracamente guiados, os quais podem acoplar energia para os modos de radiação.

A partir de um determinado raio crítico de curvatura,  $R_c$ , a luz passa a ser radiada para fora da fibra, resultando em uma variação de potência óptica na saída da mesma com relação à entrada, ou seja, uma parcela da energia é perdida para o ambiente externo. Para uma fibra multimodo, o valor do raio crítico é dado por [1].

$$R_c \cong \frac{3n_1^2 \lambda_0}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{3/2}} \quad (1)$$

Onde  $n_1$  e  $n_2$  são os índices de refração do núcleo e da casca,  $\lambda_0$  é o comprimento de onda da luz no vácuo.

Para raios de curvatura menores que  $R_c$ , pode-se escrever a equação de potência óptica de saída da fibra óptica por:

$$P_{out} = P_{in} e^{-2\alpha z} \quad (2)$$

Onde  $2\alpha$  representa coeficiente de perda de potência originada por curvatura [1]

$$2\alpha = \frac{\pi^{1/2} k^2 e^{\left(\frac{-2\gamma^3 R_{eff}}{3\beta^2} - 2\gamma a\right)}}{2R_{eff}^{1/2} \gamma^{3/2} V^2 K_{m-1}(\gamma a) K_{m+1}(\gamma a)} \quad (3)$$

Sendo  $R_{eff}$ , o raio efetivo dado por [1]:

$$R_{eff} = \frac{R}{1 - \frac{n^2}{2} [P_{12} - \nu(P_{11} + P_{12})]} \quad (4)$$

onde  $\kappa, \beta, \gamma$  são constantes de propagação,  $a$  é o raio do núcleo da fibra,  $V$  é a frequência normalizada,  $P_{12}$  e  $P_{11}$  são componentes do tensor fotoelástico e  $\nu$  é a razão de Poisson [2].

Como mencionado anteriormente, o sistema mecânico funciona com base no fenômeno de perdas induzidas por curvaturas em fibras ópticas, a figura 2 mostra a estrutura que realiza a conversão da força proveniente do esmagamento em variação de intensidade óptica. A estrutura consiste em uma fibra óptica plástica, comercial, com jaqueta espessa, do tipo multimodo. A respectiva fibra é colocada entre duas estruturas com cilindros metálicos espaçados periodicamente e com uma base de borracha uniforme cobrindo toda a estrutura.

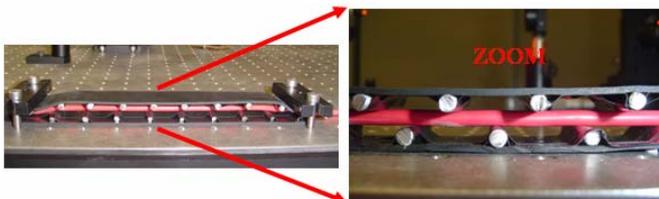


Fig. 2: Fotografia do sistema mecânico que converte a força oriunda de esmagamento em variação da intensidade óptica

O funcionamento do sistema mecânico consiste em: pressionar a base da estrutura periódica, esta por sua vez, devido às obstruções cilíndricas, induz uma ou várias curvaturas na fibra óptica, fazendo com que a potência a ser detectada varie significativamente em relação à potência óptica entregue à entrada da fibra. O diâmetro de cada obstrução metálica é suficiente para induzir as, desejadas, perdas por curvatura ( $\approx 5\text{mm de diâmetro}$ ).

### III. SISTEMA ELETRÔNICO

O sistema responsável pela detecção da potência óptica é um fotodetector “genérico” com a função de converter o sinal óptico em sinal eletrônico. Junto às curvaturas geradas na fibra óptica são geradas as perdas de intensidade, dessa forma, se obtém uma redução de tensão na saída dos terminais do fotodetector. Portanto, é possível que o esmagamento seja medido a partir da variação de tensão no fotodetector.

A resolução observada foi de aproximadamente 0,1V/Kgf, observou-se que tal resolução poderia ser modificada de acordo com a intensidade de potência óptica acoplada ao fotodetector. Cabe observar a forte dependência com a saturação do fotodetector, visto que, quando há alta intensidade óptica é necessária uma força muito maior para gerar uma variação de tensão no fotodetector. Assim, a utilização de alta intensidade óptica provoca uma resolução menor.

Na figura 5.a pode ser observada a dependência da variação de tensão com o esmagamento aplicado, cabe observar o comportamento linear. Devido a tal comportamento, o respectivo sensor pode ser utilizado como uma balança ou um dinamômetro. No entanto, efetuou-se um processamento eletrônico no sinal detectado para obter outras

aplicações. Dentre as aplicações desejadas, uma consiste em liberar um sinal elétrico discreto no domínio do tempo, ou seja, um sinal digital, caso o sensor presencie esmagamento ou não. Esta etapa é uma das etapas fundamentais do sensor proposto, para que o mesmo tenha as funcionalidades de disparo digital (nível lógico alto ou baixo, 1 ou 0), é necessário um circuito eletrônico capaz de tomar decisões, ou seja, a partir de um determinado limiar ele deve ser capaz de disparar o sinal ou não.

O circuito construído possui três funcionalidades em questão, a primeira foi discutida anteriormente, a segunda consiste em: a partir de um esmagamento ser capaz de tomar a decisão de disparar um sinal digital de 0V, na ausência de esmagamento, e 5 V, na presença de esmagamento. A terceira funcionalidade é capaz de gerar níveis de tensão de 10V, na ausência de esmagamento, e -10V, na presença de esmagamento. Todas estas funcionalidades juntas permitem algumas aplicações.

As duas últimas funcionalidades são suficientes para disparar os circuitos eletrônicos para realizar monitoramento de sistemas de segurança, proteção contra esmagamento, acionamento de dispositivos automáticos e proteção anti-esmagamento contra motores em funcionamento.

O circuito construído é representado na figura 3, os componentes utilizados foram dois circuitos integrados, o HIN 232 com auxílio de capacitores para sua polarização adequada, o 74HC14N (inversora) para tomar decisão e um fotodetector genérico. A tabela 1 apresenta os detalhes do sinal eletrônico com seus respectivos níveis elétricos.

A fig. 4 consiste em uma fotografia da montagem experimental do sensor proposto neste trabalho, o qual foi montado no laboratório de Guerra eletrônica do ITA

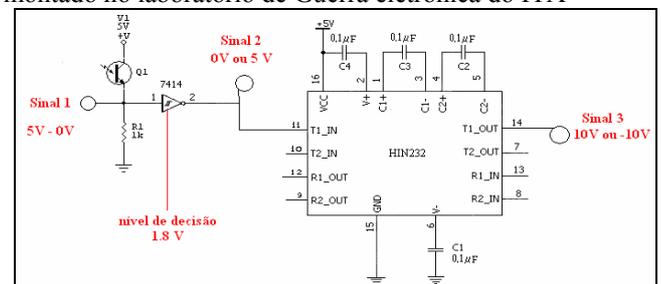


Fig. 3: Circuito eletrônico[3].

Esmagamento	Sinal 1 [Analogico]	Sinal 2 [Digital]	Sinal 3 [Digital]
Ausência	5 V	0 V	10 V
Presença	5-0 V	5 V	-10 V

Tabela 1: níveis de tensão obtidos com o sensor proposto

Enfatiza-se a utilização deste sensor em sistemas de segurança onde se deseja monitorar um indivíduo andando em um ambiente. Observa-se que na situação em que o sinal elétrico entregue tem nível de tensão alto, igual a 5V, é possível polarizar um LED. Logo, dividindo um ambiente como uma matriz e fazendo de cada um destes sensores um elemento de matriz é possível ter a posição exata de um indivíduo andando neste ambiente.

A condição imposta pelo sinal 3 é suficiente para permitir que um motor de passo, que esteja em funcionamento, mude seu sentido de rotação na presença de um esmagamento. Tal funcionalidade consiste de uma excelente alternativa para sistemas de segurança na prevenção de acidentes de trabalho e até mesmo em acidentes domésticos como em janelas e portas automáticas (linha comercial, automotiva e residencial) [4].

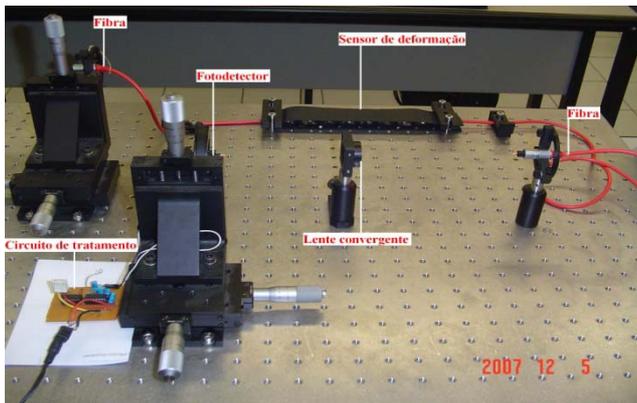


Figura 4: Montagem do sistema

#### IV. RESULTADOS

Nesta secção são apresentados os resultados experimentais obtidos com o sensor proposto. As figuras 5 e 6, parte (A), consistem nas medidas da variação de tensão nos terminais do fotodetector em função da força aplicada no sistema mecânico, onde pode ser observado o comportamento linear do mesmo. Cabe observar a sensibilidade do dispositivo com uma resolução de aproximadamente 0,1V/Kgf.

Com relação ao segundo estágio do circuito (correspondente ao sinal no ponto 2 da fig. 3), observa-se seu comportamento elétrico em função do esmagamento na figura 5. parte B, sinal após o nível de decisão, observa-se que na ausência de esmagamento obtém-se 0V na saída, e na presença de uma força aplicada sobre o sistema mecânico, observa-se 5V. A menor força necessária para que o sistema tome a decisão de “presença de esmagamento” é de aproximadamente 3.2 Kgf. No intervalo de força de 2.1Kgf a 3.2Kgf, o sensor se comporta com nível de indecisão.

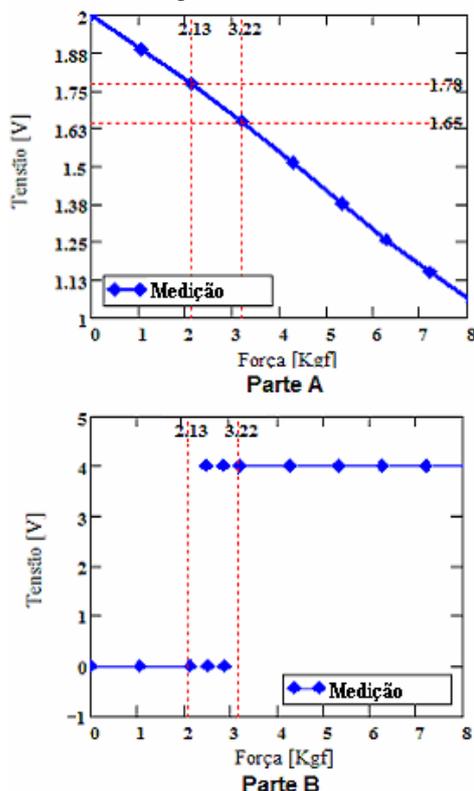


Figura 5: Comparação entre o sinal detectado (sinal 1), Parte A) e entre o Sinal detectado e posteriormente processado eletronicamente de acordo com aplicação (sinal 2), Parte B).

Com relação ao sinal 3, observado na figura 6 parte (B), tem-se que na ausência de esmagamento obtém-se 10V na saída, e na presença de esmagamento observa-se -10V. Os mesmos parâmetros para o sinal 2 são considerados, ou seja, a menor força necessária para que o sistema tome a decisão de “presença de esmagamento” é de aproximadamente 3.2Kgf.

Este tipo de sinal pode ter uma funcionalidade muito importante na proteção contra o esmagamento, o máximo valor de tensão, igual a 10V, poderia representar um motor DC funcionando em um sentido de rotação, enquanto que um mínimo de -10V poderia representar o sentido contrário no giro de rotação, correspondendo a presença de um esmagamento.

Cabe observar que a força necessária para tomada de decisão pode ser ajustada para um esmagamento pretendido. Quanto maior a força que se deseja medir, mais luz deve ser acoplar ao fotodetector (certamente existem limitações).

Por outro lado, a redução de intensidade óptica possibilita a detecção de esmagamentos menores. No entanto, instabilidades ocorrem quando se utiliza intensidades que coloquem o ponto de operação do sensor muito próximo do limiar de decisão, fazendo com que o mesmo fique instável.

Como fora mencionado anteriormente, a mínima força medida para tomada de decisão foi de, aproximadamente, 3.2 Kgf. Observam-se pontos de indecisão na região pontilhada em vermelho nos gráficos das figuras 5.B e 6.B, tal efeito ocorre devido ao nível de decisão que se encontra na faixa próxima aos níveis observados na figura 5.A igual a figura 6.A

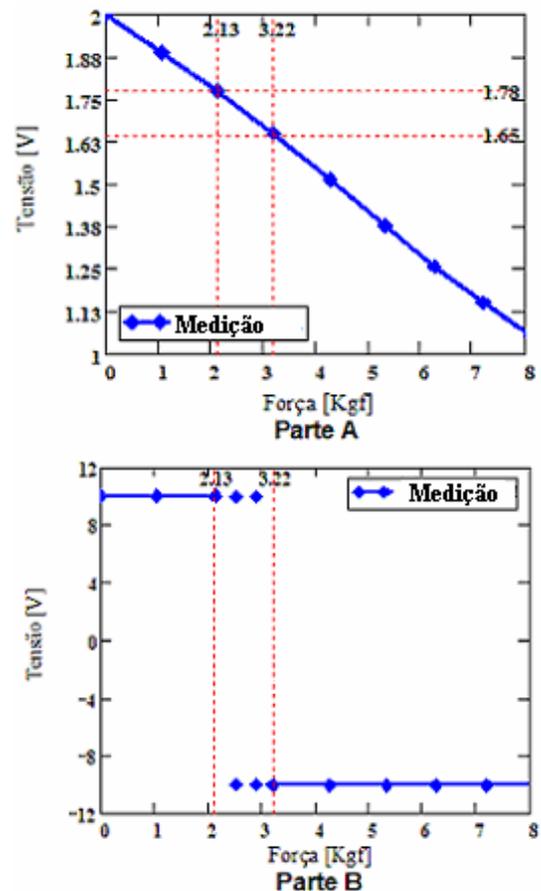


Figura 6: Comparação entre o sinal detectado (sinal 1), Parte A) e entre o Sinal detectado e posteriormente processado eletronicamente de acordo com aplicação (sinal 3), Parte B).

## V. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, observa-se o potencial apresentado pelo sensor proposto em aplicações que certamente poderão auxiliar a resolver os mais diversos problemas relacionados a sistemas de segurança, prevenção de acidentes, controle e automação. Além disso, ele ainda se apresenta como um instrumento de baixo custo para esta vasta quantidade de aplicações. O sensor pode ser adaptado a outras aplicações, ficando em aberto o tratamento de sinal a ser realizado para a aplicação desejada.

## REFERÊNCIAS

1. Fegadolli, W. S., Oliveira, J. E. B., Almeida, V. R., "Plastic Optical fiber Microbend Sensors". PIERS Proceedings, Cambridge, USA, July 2008
2. Schermer, R. T. and Cole J. H., "Improved Bend Loss Formula Verified for Optical Fiber by Simulation and Experiment". IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol – 43, N0, 10, October 2007
3. Linec, M. and Donlagic, A Plastic Optical Fiber Microbend Sensor Used as a Low-Cost Anti-Squeeze Detector. IEEE Sensors Journal, Vol. 07, N 09, September 2007.