

## 2 Descrição Preliminar

Uma revisão bibliográfica se torna indispensável para melhor compreensão do trabalho aqui apresentado. Esta descrição enfoca alguns pontos principais, sem entrar em detalhes, pois estaria saindo do contexto do trabalho. Neste capítulo, será apresentado o princípio de funcionamento da rede de Bragg em fibras ópticas, como a dependência do comprimento de onda de Bragg submetido a perturbações externas (deformação axial e temperatura). Em adição, serão apresentadas algumas técnicas de interrogação de sensores a rede de Bragg.

### 2.1. Redes de Bragg em Fibra Óptica

Com a descoberta da foto-sensibilidade em fibras ópticas foi desenvolvida uma nova classe de dispositivos, denominados redes de Bragg em fibras ópticas [13-16], que permite fazer muitas funções primárias como reflexão, filtragem e dispersão espectral, com alta eficiência e com a vantagem de ser inserida na própria fibra. As redes de Bragg em fibra estão revolucionando a maneira de processar a luz dentro da fibra e acredita-se que, apesar de já serem amplamente utilizadas, terão um papel ainda maior no futuro tanto na área de comunicações ópticas como na área de sensores a fibra.

Em telecomunicações, as redes de Bragg são usadas em amplificadores de fibra dopada com Érbio para sistemas de longa distância e para fontes em sistemas WDM (Multiplexação por divisão de comprimento de onda). Outra aplicação de destaque é como filtros para adicionar/extrair sinais ópticos em algumas configurações WDM para aumentar a capacidade de transporte de dados em sistemas de comunicações ópticos [17]. Redes de Bragg com características específicas também são utilizadas para compensar a dispersão cromática ocorrida em pulsos luminosos que se propagam por longas distâncias e para a geração de sólitons ópticos em fibras [18]. Sistemas para compensação de dispersão de polarização também foram desenvolvidos utilizando redes de Bragg [37].

Por a rede de Bragg ser sensível à temperatura e ao estresse mecânico (compressão ou extensão), muitos parâmetros físicos podem ser medidos com redes de Bragg tais como pressão, temperatura, deformação, fluxo, vibração acústica, aceleração, e alguns efeitos químicos. Há vários esquemas para detectar essa dependência da rede de Bragg e alguns serão exemplificados na sessão 2.1.2.

Uma dificuldade dos sensores baseados em redes de Bragg é distinguir os efeitos da aplicação de tensão ou da temperatura. Existem várias propostas para contornar esse problema, algumas delas incluem o uso de uma segunda rede em série com a primeira como referência e o uso de um par de redes montadas em superfícies opostas de uma estrutura mecânica [19], redes contidas em fibras de composição diferente [20], e redes com “chirp” (redes cujo período muda ao longo de sua estrutura) [21].

### 2.1.1.

#### **Princípio de Funcionamento das Redes de Bragg em fibra óptica como sensores**

As redes de Bragg são estruturas periódicas de modulação do índice de refração no núcleo da fibra, ao longo do eixo de propagação da luz, e apresentam como característica principal a reflexão de parte da potência óptica em comprimentos de onda próximos ao comprimento de onda de Bragg, que se relaciona com a periodicidade espacial da rede,  $\Lambda$ , da seguinte forma.

$$\lambda_m = 2n\Lambda, \quad m = 1, 2, 3 \dots \quad (2.1)$$

onde  $\lambda_m$  é o comprimento de onda refletido de ordem  $m$ ,  $n$  é o índice de refração médio, e  $\Lambda$  é o período espacial das redes [8]. A figura 2.1 apresenta uma representação esquemática de uma rede de Bragg em fibra e os espectros da luz transmitida e refletida por ela.

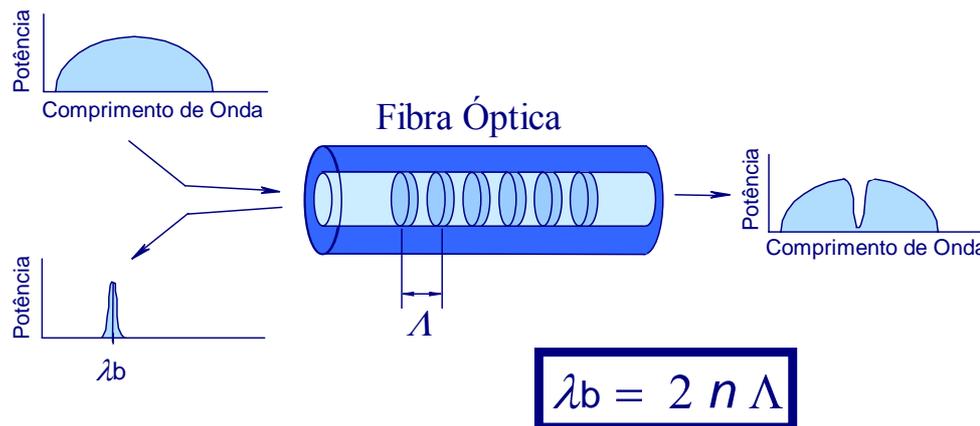


Figura 2.1 Rede de Bragg e os espectros de transmissão e reflexão

A capacidade de sensoriamento de redes de Bragg está relacionada ao fato de que  $\lambda_m$  pode ser alterado por esforços mecânicos ou através da temperatura que modificam o índice efetivo da fibra e a periodicidade da estrutura,  $\Lambda$ . Estas dependências podem ser resumidas, de forma aproximada, na expressão:

$$\Delta\lambda_b / \lambda_b = 10^{-5} \Delta T + 0,78 \varepsilon \tag{2.2}$$

onde  $\lambda_b$  é o valor, em m, do comprimento de onda refletido pelo sensor,  $\Delta T$  é a variação de temperatura, em °C, e  $\varepsilon$  representa a deformação sofrida pelo sensor, em m/m. As constantes numéricas são características do material que compõe a fibra. Em particular a constante térmica ( $K = 10^{-5}$ ), pode apresentar variações entre diferentes fibras.

Enquanto a estabilidade da rede de Bragg é fundamental em muitas aplicações, o efeito do meio ambiente pode ser usado para o sensoriamento de grandezas físicas, medindo o deslocamento espectral do comprimento de onda de pico. Pela sua banda de reflexão estreita, várias redes de Bragg podem ser gravadas em uma mesma fibra sem que perturbe o desempenho da outra, o que permite a utilização de sensores ópticos distribuídos ao longo de uma mesma fibra óptica.

### 2.1.2. Técnicas de interrogação de sensores a Rede de Bragg

Diferentes procedimentos podem ser empregados na medida das modificações induzidas no espectro óptico de reflexão de redes de Bragg a partir de deformações ou variações de temperatura [7]. A escolha não é óbvia e depende essencialmente da aplicação a que se destina, devendo-se em cada caso considerar as bandas de frequência envolvidas, o número de sensores interrogados, sua distribuição espacial, a faixa dinâmica de deformação ou temperaturas a serem medidas, e limitações de espaço e peso do sistema de medição.

Várias formas de multiplexar esses sensores foram propostas com diferentes técnicas [5]. Entre estas, a mais simples consiste na leitura direta dos espectros dos sensores através de um Analisador de Espectro Óptico (OSA) ou equipamentos mais sofisticados que além de medir o comprimento de onda detecta seus picos (Wavemeter), figura 2.2. A aplicação destas técnicas é limitada devido ao alto custo dos equipamentos que apresentam a exatidão necessária. Por outro lado, ao se usar o OSA, a lentidão com que a varredura do espectro óptico é realizada praticamente limita a sua utilização para medidas estáticas.

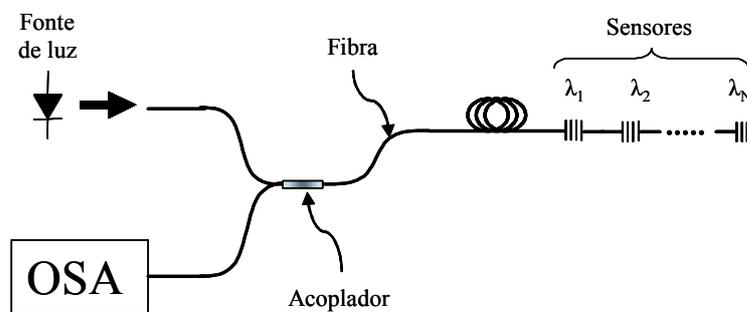
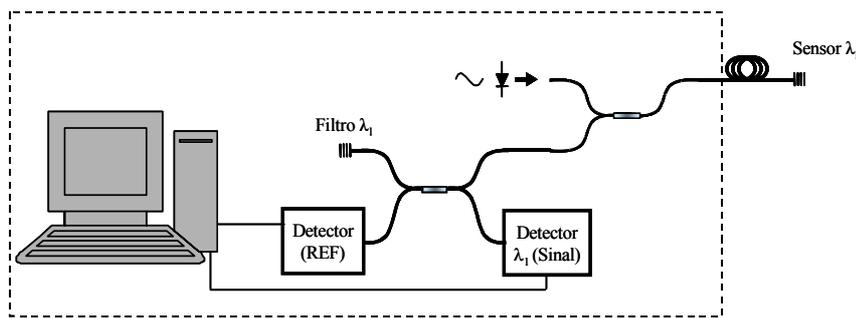


Figura 2.2 Circuito óptico utilizando Analisador de Espectro Óptico (a) e Medidor de comprimento de onda (b).

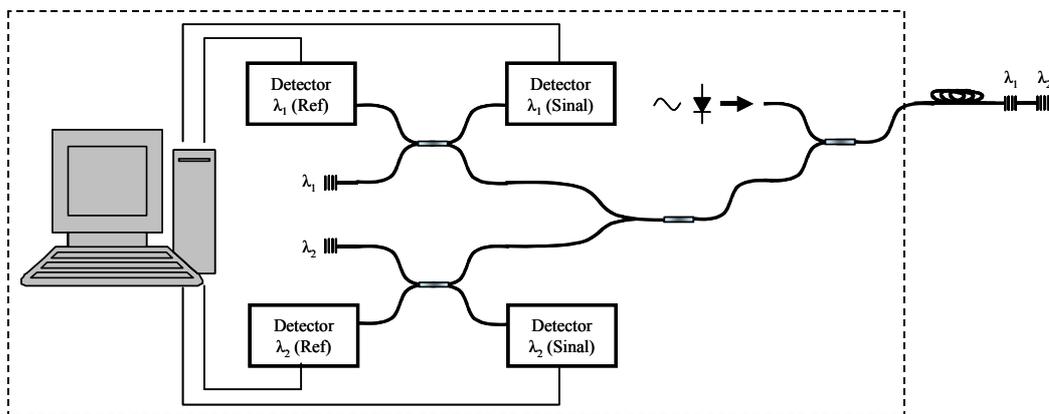
As técnicas baseadas em filtros fixos [22] constituem uma alternativa de menor custo. Esses filtros podem ser do tipo Fabry Perot, interferômetros, ou ainda uma rede de Bragg. A utilização de filtros fixos tem como importante vantagem a possibilidade de aplicação em medidas dinâmicas, mas a eficácia de cada técnica irá depender, entre outros fatores, das características da fonte utilizada.

Uma possibilidade ainda pouco explorada é associar a análise da resposta espectral a técnicas de multiplexação temporal (Reflectometria no Domínio do Tempo) [23-26]. Entre estas, há sistemas que utilizam fontes monocromáticas sintonizáveis que, por apresentarem alto custo e um tempo de resposta baixo, limitam suas aplicações [27-29]. Outros sistemas usam fontes pulsadas de banda larga juntamente com métodos de filtragem que envolvem uma eletrônica sofisticada e por isso muitas vezes são lentos e caros [30, 31].

A implementação descrita por Leiderman [22] baseia-se em redes de Bragg como filtros fixos e utiliza uma fonte com espectro largo de luz contínua ou com modulação AM, figura 2.3 (a). A modulação AM, neste caso, é para minimizar o efeito de offset do circuito eletrônico, pois em sistemas de luz contínua o desacoplamento deste efeito é mais difícil. Neste sistema, para cada um dos sensores a rede de Bragg do conjunto, há uma outra rede de Bragg como filtro fixo dentro da unidade de recepção.



(a)



(b)

Figura 2.3 Sistema de sensoriamento com 1 e 2 pontos de medição, (a) e (b), utilizando Redes de Bragg como sensor e filtro [22]

O sistema descrito neste artigo apresenta algumas deficiências, entre as quais está a perda de intensidade luminosa em função do número de acopladores utilizados. Isto exige uma maior potência da luz emitida de modo que se compense esta perda. Uma característica negativa desse sistema é influência devido à interferência do sinal de qualquer um dos sensores do conjunto através do canal de referência, o que reduz a exatidão da leitura. Porém, a maior desvantagem do sistema descrito no artigo supracitado é o aumento linear do custo total do sistema com a adição de mais sensores, devido à crescente quantidade de fotodetectores e de acopladores necessários, figura 2.3(b).