

1 Introdução

O desenvolvimento das telecomunicações ópticas teve seu início na década de 70 quando fibras com atenuação suficientemente baixa para permitir a propagação da luz a distâncias superiores a 1Km começam a ser produzidas. Desde então, grandes avanços foram alcançados e as dimensões deste mercado vêm crescendo de forma ininterrupta. Hoje pode-se dizer que o mundo está totalmente ligado por fibras ópticas que cruzam os oceanos conduzindo informações a taxas superiores a 10 gigabits por segundo. Junto com fibras de altíssima qualidade, fontes luminosas, fotodetectores, acopladores ópticos, ferramentas e equipamentos especiais foram desenvolvidos e estão hoje disponíveis comercialmente a preços acessíveis.

Desde o início das atividades de pesquisa voltadas para o setor de telecomunicações, esforços paralelos têm sido conduzidos por diversos grupos visando o desenvolvimento de técnicas de medição utilizando fibras ópticas.

Sensores a fibra óptica têm sido uma das grandes fontes de pesquisa e desenvolvimento nos últimos anos, através de técnicas de medição possibilitando determinar varias grandezas físicas, químicas e biológicas [1,2,3]. Eles são sensores que utilizam fibras ópticas como meio de conexão para luz entre o mensurando e a região de leitura. Algumas vantagens no uso das fibras ópticas estão relacionadas com suas características inerentes, tais como: baixo peso, pequena dimensão, à prova de explosão, flexibilidade, longa distância de transmissão, baixa reatividade do material, isolamento elétrico, imunidade eletromagnética, grande sensibilidade potencial e economia. Além destas, existe, em muitos casos, a possibilidade de se multiplexar os sinais de vários sensores, inclusive de grandezas diferentes, e até mesmo a possibilidade de se realizar medidas distribuídas ao longo da fibra sensora.

A classificação dos sensores pode ser de dois tipos: extrínsecos e intrínsecos [4,5]. Na primeira categoria estão aqueles em que a fibra serve simplesmente para guiar a luz e o efeito óptico a ser medido ocorre fora da fibra. No segundo caso, a

fibra serve também como meio atuante, onde ocorre o acoplamento entre o mensurando e a luz, o que a torna mais interessante do ponto de vista mecânico. Os sensores também podem ser classificados quanto ao tipo do efeito óptico a ser medido, podendo ser uma alteração na intensidade, na polarização, no espectro ou na fase da onda luminosa. Na tabela 1.1 abaixo são apresentadas algumas típicas aplicações juntamente com os sensores associados.

Tabela 1.1 - Sensores ópticos para várias aplicações

Aplicação	Sensor
Linha de produção automática (aço, papel, etc...)	Posição, espessura, velocidade.
Controle de processo	Temperatura, pressão, fluxo, análise química.
Automotivo	Temperatura, pressão, torque, detecção de gás, aceleração.
Ferramenta mecânica	Deslocamento.
Aeroespacial	Temperatura, pressão, deslocamento, rotação, deformação, nível de líquido.
Aquecedor, ventilador /ar condicionado	Temperatura, pressão, fluxo.
Petroquímica	Gases tóxicos e inflamáveis, detecção de vazamento, nível de líquido.
Militar	Som, rotação, radiação, vibração, posição, temperatura, pressão, nível de líquido.
Geofísica	Deformação, campo magnético.

Dependendo do tipo de efeito óptico a ser medido podem ser usados os sensores de modulação de fase, de intensidade e de comprimento de onda [4,5]. Sensores de modulação de intensidade são geralmente associados ao deslocamento, ou a alguma outra perturbação física que interaja com a fibra, ou a um transdutor mecânico com a fibra agregada. A perturbação causa uma mudança na intensidade da luz recebida, que é uma função do fenômeno a ser medido.

Sensores de modulação de fase comparam a fase da luz proveniente de uma fibra sensora com a que se propaga de uma fibra referência, em um aparato conhecido como interferômetro. A diferença de fase pode ser medida com alta sensibilidade e, por isso, eles são muito mais exatos que os sensores de modulação de intensidade e, além disso, pode ser usado sobre uma maior faixa dinâmica. Entretanto, eles são, em geral, muito mais caros.

Na terceira categoria, estão os sensores de modulação de comprimento de onda. Devido à fotossensibilidade da fibra óptica, é possível modular o índice de refração no núcleo da fibra [8,9]. Esta modulação, quando periódica, é definida como rede de Bragg, que tem uma condição de ressonância em um específico

comprimento de onda, ao redor do qual, uma estreita faixa de comprimento de onda é refletida. O valor desse comprimento de onda pode ser alterado se a rede de Bragg sofrer perturbações como deformação e/ou variações de temperatura. Posteriormente, esse assunto será reapresentado com mais detalhes.

Sensores a rede de Bragg [6-9] vêm sendo principalmente utilizados para medidas de deformação em situações onde outros sensores convencionais encontram dificuldades. Em particular, devido à possibilidade de inserção da fibra em matérias estruturais, como por exemplo, plásticos; compósitos com matrizes poliméricas; concreto e ainda alguns metais com baixo ponto de fusão, um de seus maiores nichos de aplicação tem sido a monitoração da integridade estrutural [10-13].

Um dos principais entraves à evolução da tecnologia de sensores a fibra óptica tem sido a grande diversidade de aplicações com características distintas e a necessidade de componentes que muitas vezes apresentam custos elevados devido à falta de escala de produção. Este quadro leva a uma dependência da área de sensores em relação à de telecomunicações que, por suas dimensões, determina as características dos componentes comercializados.

O objetivo deste trabalho é analisar uma técnica de demodulação baseada em dois filtros de transmissão fixos, usada para interrogar sensores a rede de Bragg em fibras ópticas, a fim de determinar parâmetros físicos como deformação, temperatura e pressão. Para tal desenvolvimento, é tomado como base o sistema composto de um sensor e um único filtro fixo [14], visando um sistema com maior faixa dinâmica, mantendo baixa incerteza. A técnica de filtros fixos baseia-se na associação da potência óptica lida nos fotodetectores com a posição do comprimento de onda de Bragg do sensor. As leituras indicadas nos fotodetectores são proporcionais ao grau de superposição, ou intersecção, entre os espectros do sensor e dos filtros [15]. A motivação em usar este sistema está relacionada às suas características peculiares como seu baixo custo e sua robustez, além do tempo de resposta que, diferentemente das técnicas que analisam o espectro inteiro, associa uma grandeza a ser medida com a potência obtida, limitando o tempo de resposta apenas ao fotodetector.

Este trabalho está dividido em 7 capítulos que seguem a ordem descrita abaixo:

No primeiro capítulo é feita uma breve introdução sobre a evolução da fibra óptica, em conjunto com o desenvolvimento de algumas técnicas de medição, citando alguns tipos de efeitos ópticos que podem ser medidos usando as fibras como sensor, em diversas aplicações. No segundo capítulo é apresentada uma revisão dos principais conceitos envolvendo rede de Bragg, que serão de grande importância para a melhor compreensão do trabalho desenvolvido. As propriedades da rede de Bragg, em conjunto com técnicas de demodulação usadas para inferir grandezas físicas, são apresentadas nesse capítulo.

A técnica proposta, baseada em dois filtros fixos, é apresentada com detalhes no capítulo 3, sendo utilizada na medição de deformação. Nesse capítulo são apresentados alguns dados experimentais que são confrontados com simulações numéricas, baseadas em análise teórica.

Uma segunda análise é feita baseada na técnica de filtros fixos para medida simultânea de pressão e temperatura usando uma única rede de Bragg. Nesse caso, uma fibra de baixa birrefringência com a rede de Bragg é submetida a compressão transversal, através de um transdutor mecânico, em conjunto com a variação da temperatura. A descrição detalhada é mostrada no capítulo 4, onde os resultados experimentais e simulações numéricas são novamente avaliados.

No capítulo 5 é confrontada a técnica usando dois filtros fixos com a técnica baseada na determinação da posição de pico espectral, analisando a influência da fonte usada para interrogar a rede sensora. É apresentado um estudo dos efeitos gerados quando, em uma multiplexação, os sensores encontram-se superpostos espectralmente. Adicionalmente, é analisado o distúrbio provocado no espectro da rede sensora quando a fonte de luz usada para interrogar a rede tem uma modulação espectral residual que varia com a temperatura.

De forma complementar, mas sem usar a técnica de filtros fixos, no capítulo 6 é apresentado o trabalho realizado no IPHT (*Institut für Physikalische Hochtechnologie*), Alemanha. Neste trabalho foi desenvolvido um sistema de multiplexação TDM/WDM de sensores usando redes de Bragg escritas em fibras ópticas de alta birrefringência. São feitos estudos de compressão lateral nas redes sensoras, como exemplo de aplicação.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas conclusões baseadas nos resultados dos trabalhos desenvolvidos nesta tese de doutorado.