

1. Introdução

O primeiro sensor magnético utilizando fibras ópticas foi proposto por Yariv e Winsor [1] em 1980. Eles propõem a utilização de um material magnetostrictivo como uma cobertura da casca de uma fibra óptica. Na presença de um campo magnético, a cobertura seria deformada pelo efeito magnetostrictivo. Com a cobertura mecanicamente acoplada ao núcleo da fibra, a deformação alteraria o caminho óptico percorrido pelo feixe de luz no seu interior. Esta variação seria detectada utilizando esta fibra como um dos braços de um interferômetro e medindo a diferença de fase entre este braço e o outro. Logo após, Dandridge e colaboradores [2] implementaram a idéia proposta utilizando níquel como material magnetostrictivo. Construindo o sensor de 100 mm de comprimento, chegaram a uma resolução de 1 nT para campos magnéticos variantes no tempo na faixa de 100 Hz a 10 kHz. Em 1983, Wilson e Jones [3] depositaram filmes finos magnetostrictivos diretamente sobre o revestimento interno da fibra óptica. Utilizando o interferômetro Mach-Zehnder e sensores de 150 mm de comprimento, foram capazes de medir campos magnéticos constantes no tempo com uma resolução de alguns mT.

Na mesma época Hill e colaboradores [4], que trabalhavam na área de comunicações ópticas, foram capazes de confeccionar microestruturas no núcleo da fibra óptica que consistem em pequenas alterações periódicas e localizadas do seu índice de refração. Mais tarde estas microestruturas ficaram conhecidas como redes de Bragg. Elas têm a propriedade de refletir uma pequena faixa espectral do feixe de luz que se propaga na fibra. Esta faixa possuiu um comprimento de onda central característico que depende da distância entre as alterações periódicas mencionadas anteriormente. A este comprimento de onda se deu o nome de comprimento de onda de Bragg.

A primeira utilização direta da rede de Bragg foi para medição de variações de pressão, temperatura e deformação de estruturas em que a rede de Bragg estivesse colada, isto era conseguido através do monitoramento do comprimento de onda de Bragg [5,6].

A união de materiais magnetostrictivos e redes de Bragg aconteceu mais tarde, em 1997 quando materiais com magnetostricção gigante foram utilizados como atuadores em uma rede de Bragg para sintonizar o comprimento de onda de um filtro óptico [7]. Mais recentemente esta combinação de materiais magnetostrictivos e redes de Bragg tem sido utilizada em sensores de corrente [8, 9, 10], posição [11] e campo magnético [12,13].

Em geral para medição de campos magnéticos, sensores convencionais, quando comparados a sensores magnéticos que utilizam de redes de Bragg, possuem melhor resolução. Sensores de efeito Hall e de magnetoresistência gigante possuem resolução de $0,1 \mu\text{T}$. Já o sensor fluxgate tem uma resolução de $0,001 \mu\text{T}$. Já sensores magnéticos que utilizam redes de Bragg têm uma resolução de $50 \mu\text{T}$, que está na faixa do campo magnético terrestre. Esta resolução foi estimada tomando-se por base uma resolução de $1,0 \text{ pm}$ da eletrônica de interrogação da rede de Bragg e o algoritmo para detecção do pico do comprimento de onda de Bragg.

Entretanto o sensoriamento convencional, não é apropriado para detecção de campos magnéticos em lugares remotos e de difícil acesso, além de não dispor de vantagens inerentes à esta tecnologia, como imunidade à interferência eletromagnética, facilidade para multiplexação de vários sensores, baixa sensibilidade a perdas de potência em conexões, custos competitivos, além de não ser necessário o uso de geradores ou baterias para alimentação dos sensores no local de realização das medições.

Os sensores desenvolvidos nesta tese se baseiam na utilização de um material magnético acoplado a uma fibra óptica contendo uma rede de Bragg. Vários materiais magnéticos foram utilizados: Terfenol-D, que apresenta o efeito da magnetostricção gigante, compósitos de Terfenol-D e diversas resinas e ímãs de Nd-Fe-B e Sm-Co. O efeito da geometria e do material do sensor na resposta à campos magnéticos uniformes e à gradientes de campos magnéticos são alvo de estudo deste trabalho. Desta forma procura-se suprir uma lacuna na literatura, onde somente são descritas respostas de sensores à campos magnéticos uniformes no espaço. Para os sensores que utilizam ímãs desenvolveu-se um modelo baseado em simulações pelo método de elementos finitos que possibilita a escolha de uma geometria apropriada para o sensor detectar corrosão em placas ferromagnéticas. Foi também projetado e construído um arranjo linear de

sensores e demonstrada a sua utilização para obtenção de imagens magnéticas de áreas de corrosão.

Esta tese está dividida da seguinte forma: no capítulo 2, é feita uma revisão sucinta do fenômeno da magnetostricção. No capítulo 3 é apresentado um protótipo de sensor que utiliza Terfenol-D. A resposta do sensor quando na presença de campos uniformes e gradientes de campo é analisada e o efeito da sua geometria é estudado. No capítulo 4, apresenta-se um estudo de compósitos magnetostrictivos variando sua geometria. No capítulo 5 estuda-se um sensor que utiliza ímãs permanentes especialmente fabricados para serem acoplados às fibras ópticas e apresenta-se o modelo de elementos finitos utilizado para otimizar sua geometria. No capítulo 6 é mostrada uma aplicação deste sensor para obtenção de imagens de áreas de corrosão em placas ferromagnéticas.