

# 1 Introdução

O surgimento das fibras de sílica com baixas perdas, a partir da década de 70, levou não apenas a uma revolução no campo das comunicações por fibras ópticas, como também tornou possível a investigação da óptica não-linear em fibras. Em 1972, iniciou-se o estudo do Espalhamento Raman Estimulado e o do Espalhamento Brillouin Estimulado em fibras. Outros fenômenos não-lineares também começaram a ser estudados, como Birrefringência Induzida e Automodulação de Fase. Em 1973, foi descoberto que as fibras ópticas são capazes de gerar pulsos tipo sóliton, através de um equilíbrio entre efeitos de dispersão e de não-linearidade. Os sólitons ópticos proporcionaram importantes avanços na geração e na detecção de pulsos ópticos curtos.

A pesquisa da óptica não-linear em fibras continuou crescendo na década de 90, expandindo-se com o surgimento das fibras dopadas com elementos de terras raras, usadas para fabricar amplificadores [1-2] e lasers [3]. Vários íons de diferentes elementos de terras raras, como érbio, itérbio e neodímio, quando excitados adequadamente, são capazes de emitir em comprimentos de onda que cobrem uma vasta região do espectro eletromagnético, do ultravioleta até o infra-vermelho. As características do amplificador, tais como o comprimento de onda de operação e a largura de banda do ganho, são determinadas mais pelos dopantes do que pela fibra, que desempenha o papel de meio hospedeiro. Os Amplificadores a Fibra Dopada com Érbio (AFDE) chamaram a atenção pelo fato de operar na região de comprimentos de onda próxima a  $1,55 \mu m$ , onde as perdas nas fibras são mínimas.

Um amplificador a fibra pode ser convertido em um laser se for colocado dentro de uma cavidade capaz de produzir a realimentação óptica [4]. O primeiro laser a fibra, demonstrado em 1961, usava uma fibra dopada com neodímio [5]. Em sua configuração mais simples, um laser a fibra pode ser feito apenas aproveitando os 4% de refletividade da clivagem das extremidades da fibra para produzir a realimentação. Entretanto, pode-se conseguir uma eficiência muito maior utilizando-se redes de Bragg como espelhos. Tais redes podem ser construídas para refletir comprimentos de onda que vão desde o ultravioleta até o infra-vermelho [6]. Lasers a fibra dopada combinam as propriedades de guia de onda e de luminescência. Assim, é possível construir um laser a fibra onde as redes de Bragg,

que compõem a cavidade Fabry-Pérot, tenham picos de reflectividade coincidentes com o pico de luminescência do meio de ganho. O comprimento de onda  $\lambda$  de um laser a fibra pode ser variado seleccionando-se a reflectividade das redes.

A motivação para o desenvolvimento deste trabalho foi que lasers a fibra dopada com érbio são capazes de operar na região de comprimento de onda de  $1550\text{ nm}$ , que coincide com a região onde as fibras de sílica, muito usadas em comunicações ópticas, apresentam a menor perda. A configuração de cavidades acopladas foi escolhida para obtermos uma emissão monomodo e de largura de linha estreita. Entre as possíveis aplicações deste laser podemos citar a espectroscopia de alta resolução e a tecnologia de sensores, além da facilidade de integração com outros componentes baseados em fibras ópticas (tais como WDM e isoladores).

No capítulo 2, trataremos das fibras ópticas e de algumas de suas propriedades. Trataremos apenas das fibras de sílica, pois estas são as fibras padrão em telecomunicações, e são elas que recebem os dopantes de terras raras, como o érbio, estudado aqui. Além das propriedades, como perdas e dispersão, estudaremos as redes de Bragg em fibras. Finalmente, serão apresentadas as propriedades das fibras de sílica dopadas com íons de terras raras.

No capítulo 3, trataremos dos lasers a fibra. Inicialmente, as propriedades gerais serão descritas e, posteriormente, estudaremos os princípios de funcionamento de lasers a fibra, bem como o caso particular das cavidades acopladas.

No capítulo 4, será apresentado um tratamento teórico para descrever o sistema de um laser a fibra com cavidades acopladas. A abordagem utilizada [7] será a semi-clássica, na qual o campo eletromagnético é tratado como uma variável clássica (uma função de  $\vec{r}$  e de  $t$ ), enquanto que o meio material é descrito em termos do operador densidade, dentro do modelo de átomo de dois níveis.

No capítulo 5, será apresentada a configuração experimental do nosso laser. Os resultados experimentais obtidos, como os gráficos do espectro de luminescência e de absorção do íon de érbio, também serão apresentados. Explicaremos o processo de gravação das redes de Bragg nas fibras, mostrando as montagens usadas para sua realização. Finalmente, o espectro de saída do laser, com um pico de  $165\ \mu\text{W}$  em  $1532\text{ nm}$  e ambas as cavidades sendo bombeadas, será mostrado.

No capítulo 6, as conclusões referentes ao trabalho aqui descrito serão apresentadas, assim como os trabalhos futuros.