

Desenvolvimento de filtros com estruturas afuniladas (tipo *taper*) usando fibras ópticas com depressão na casca

Bolsista: Christiano Pereira Guerra (CTI); christiano.guerra@cti.gov.br

Resumo

Dispositivos contendo fibra óptica afunilada em estrutura bicônica são produzidos através do aquecimento e puxamento dessas fibras. Com o objetivo de verificar as variáveis de influência no processo de fabricação dos dispositivos, foi elaborado um planejamento experimental para a fabricação das amostras. A caracterização óptica dos filtros foram feitas através de medidas da resposta espectral dos dispositivos, usando um laser sintonizável entre os comprimentos de onda 1465 nm e 1575 nm e detector de potência óptica. Foram feitas também medidas da resposta espectral em relação à variação de temperatura dos filtros encapsulados. Foi desenvolvido um sistema de aquecimento e puxamento das fibras com perfil bicônico utilizando um mini-maçarico a gás e sistema de molas para tração. Foi utilizado um segundo sistema em máquina de fabricação de acopladores da Optolink, onde foram fabricados dispositivos com diferentes perfis geométricos. Foi utilizado também um sistema de puxamento do Instituto de Física da Unicamp, que utiliza um micro-maçarico e motores de passo para tracionar a fibra. Em todos os sistemas foram usados motores para movimentar a chama dos maçaricos. Para as amostras produzidas foi feito o modelamento do processo de puxamento e aquecimento.

Palavras-chave: Fibras ópticas, Sílica vítrea, Estruturas com perfil bicônico.

1. Introdução

Muitos tipos de dispositivos ópticos podem ser obtidos mediante puxamento e aquecimento de fibras ópticas. A simplicidade do processo de fabricação e a alta compactividade obtida para estes dispositivos contribuem para a sua aplicação em diversas áreas. Devido a sua alta seletividade em comprimentos de onda e alta razão de extinção, tais filtros podem ser utilizados em sistemas de comunicações ópticas WDM (Wavelength Division Multiplexing). Esses filtros também podem ser utilizados como sensores químicos e físicos dado que parte do campo é evanescente. Podem ser usados como sensores acústicos e de campos magnéticos devido à alta sensibilidade com as curvaturas da fibra. Possuem estabilidade térmica de 3×10^{-3} nm/°C após o encapsulamento, no comprimento de onda de 1550 nm [GUERRA, 2019a]

Os dispositivos fabricados a partir de estruturas bicônicas em fibras ópticas especiais, também denominados “tapers”, podem ser definidos como adiabáticos, se o ângulo de inclinação, mostrado na figura 1, for pequeno o suficiente, para assegurar que as perdas sejam pequenas no modo fundamental propagante no dispositivo. Os perfis não adiabáticos produzem guias de onda com perdas [SYNDER, 1984]. Com o uso de fibras ópticas com depressão no perfil de índices de refração (Tipo W) e com o controle da geometria obtida, é possível se favorecer a formação de somente dois supermodos que se propagam no interior da região afunilada [CELASCHI, 2017]. O perfil do taper formado tem de ser gradual, suficientemente suave, para se assegurar que o guia de onda óptico formado tenha poucas perdas. Portanto foi necessário a avaliação dos perfis geométricos das estruturas afuniladas produzidas e dos diferentes métodos de puxamento e aquecimento. Foram utilizadas ferramentas matemáticas para a simulação destas estruturas de acordo com as variáveis de processo envolvidas.

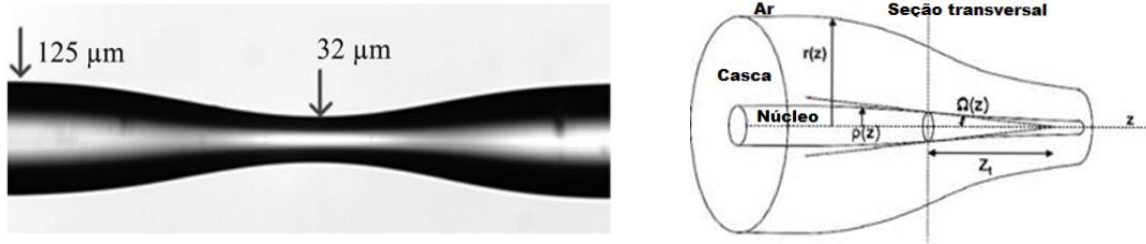


Figura 1- a)- Fotografia representando uma estrutura do tipo taper em uma fibra óptica. b)- Seção transversal da fibra puxada.

2. Materiais e Métodos

Para a fabricação dos dispositivos foram utilizadas fibras ópticas especiais fabricadas pelo Centre d'optique, photonique et laser da Université Laval, das quais os dados e perfil de índice de refração estão mostrados nas tabelas 1. Estas fibras possuem depressão na casca, com índice de refração menor entre o núcleo e a casca externa da fibra. As fibras ópticas com depressão na casca são usadas para supressão de modos guiados para a casca. Os modos que vão para casca normalmente são absorvidos pelo alto índice de refração do acrilato. Este acoplamento causa bandas de absorção por perdas em comprimentos de ondas menores.

Fibra 2024C2	Índice degrau com depressão na casca
Diâmetro da fibra	$125 \pm 1 \mu\text{m}$
Diâmetro da casca	$44 \mu\text{m}$
Diâmetro do núcleo	$9 \mu\text{m}$
Núcleo dN	$4,8 \times 10^{-3}$
Casca dN	$-1,1 \times 10^{-3}$
Revestimento externo	$250 \pm 2 \mu\text{m}$

Tabela 1- Especificações técnicas da Fibra 2024C2

Para a fabricação dos filtros com estrutura afunilada (Tapers), foram utilizados três sistemas de puxamento e aquecimento, como pode ser visto na figura 2. O primeiro sistema foi desenvolvido utilizando molas de precisão para a tração da fibra e um mini-maçarico de gás butano. Foi utilizado um motor de passo acoplado a uma base de translação, controlado por Arduino. Esta mesma base foi utilizada em um segundo sistema da empresa Optolink, normalmente usado para fabricação de acopladores ópticos. Foi elaborado um planejamento experimental para a fabricação de uma família de dispositivos utilizando duas etapas de aquecimento e puxamento para este sistema, aproveitando os recursos presentes no sistema. O terceiro sistema utilizado, foi desenvolvido na Unicamp e oferece a possibilidade de controle preciso do micro-maçarico, tanto do fluxo de gás como também do seu posicionamento. Este sistema foi calibrado anteriormente com o objetivo de oferecer a predição da estrutura formada de acordo com um formalismo simples da geometria formada [BIRKS, 1992].

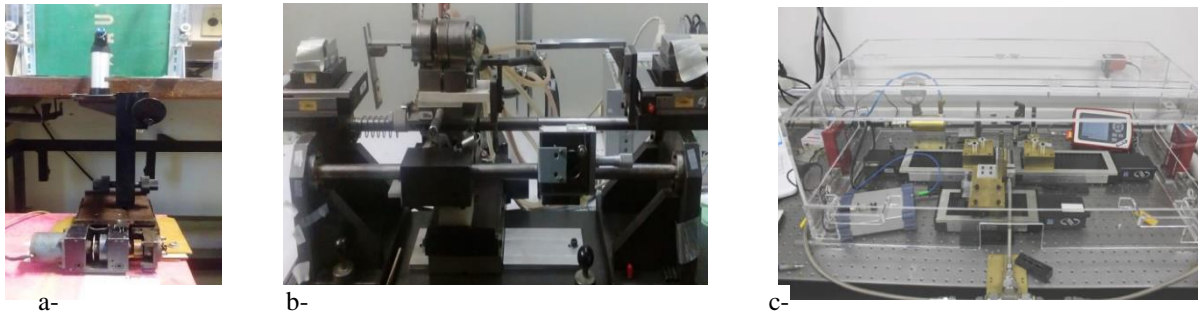


Figura 2- Sistemas de aquecimento e puxamento: a)- usando molas de precisão e mini-maçarico de gás butano, b)- forno de grafite e motores de passo (Optolink), c)- micro-maçarico de Isobutano-oxigênio (LAFE/Unicamp).

3. Resultados

3.1- Filtro taper duplo

Utilizando o sistema de puxamento e aquecimento desenvolvido no laboratório do núcleo NTR, que utiliza molas para a tração da fibra, mostrado na figura 2a, foram produzidos os filtros tapers duplos mostrados na figura 3. Estes filtros por serem mais robustos, abrem a possibilidade de aplicação destes dispositivos para aplicação como sensores de tração. Foi elaborado um procedimento para a verificação desta propriedade. Foi desenvolvido um suporte e confeccionado pelo núcleo NT3D, mostrado na figura 4a. Foi feita uma flexão no suporte que causou um alongamento na estrutura do dispositivo de acordo com a figura 4b, o que causou uma variação dos pontos de mínimo de interferência da resposta espectral dos filtros, mostrado nas figuras 4c e 4d.

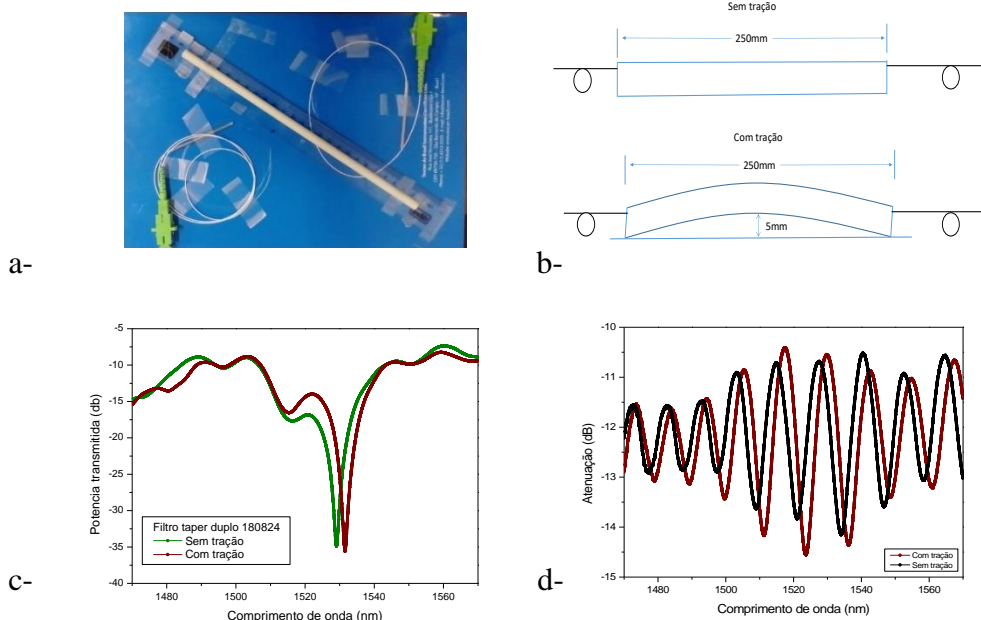


Figura 3- Filtro taper duplo: a)- suporte e conectorização, b)- esquema de montagem para medida de tração, c)- variação espectral do filtro FTD1 (180824) e d)- variação espectral com a tração do filtro FTD2.

3.2- Taper produzido com forno de grafite da Optolink

Foi produzido um lote de filtros na Optolink, através do uso de uma plataforma de fabricação de acopladores ópticos. Esta plataforma oferece a possibilidade de uso de dois estágios de fabricação, com a possibilidade de alteração da temperatura e da velocidade de puxamento durante o processo automatizado de produção. Foi feito um planejamento experimental para explorar as possibilidades do sistema em relação ao perfil geométrico da estrutura afunilada formada. Foi realizada uma adaptação de uma base de translação acionada com motor de passo para a movimentação do forno durante o processo. Os principais resultados podem ser observados na figura 4. Na figura 4 a pode ser observado que o uso do forno dinâmico melhoraram as condições de acoplamento, com a variação do valor de $\rho^{-1}dp/dz$ de 0,12 com forno estático, para cerca de 0,08 com o uso do forno dinâmico na região de acoplamento.

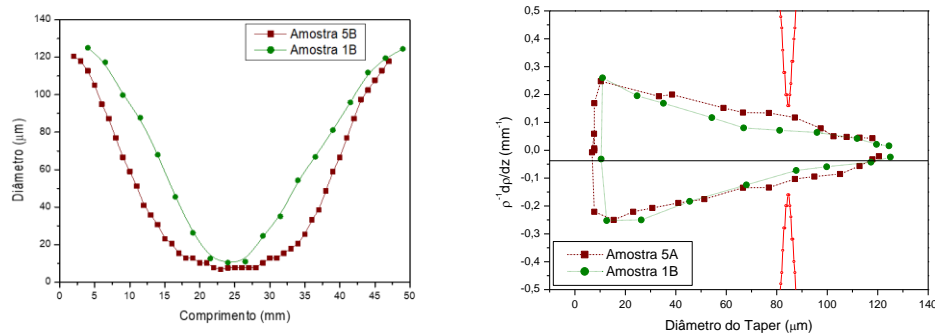


Figura 4- a)- Perfis geométricos das estruturas formadas com forno estático em marron e com forno dinâmico em verde. b)- Derivada do perfil em relação a extensão $\rho^{-1}dp/dz$ em função do diâmetro para os dois filtros e em vermelho a curva z_b^{-1} para a fibra especificada na tabela 1, mostrando a região de acoplamento dos modos [CELASCHI, 2017].

3.3- Tapers produzidos no laboratório de Fibras Especiais LAFE/Unicamp.

Um terceiro sistema de puxamento foi utilizado para a fabricação das estruturas afuniladas. Em relação aos sistemas de puxamento-aquecimento anteriores este sistema da Unicamp possibilita o controle preciso do fluxo dos gases do maçarico, além do uso de motores de passo de precisão para o maçarico e tração da fibra. Este sistema foi calibrado de acordo com o modelo de perfil geométrico [BIRKS, 1992], que usa a variação de amplitude do movimento do maçarico durante a etapa de produção. Este sistema foi calibrado anteriormente permitindo a predição precisa dos parâmetros geométricos da estrutura formada em relação a parâmetros de processo. Foi feito um planejamento experimental para a obtenção de perfis que melhor se adequassem à fibra óptica com depressão na casca que foi utilizada. Os principais resultados podem ser observados na figura 5.

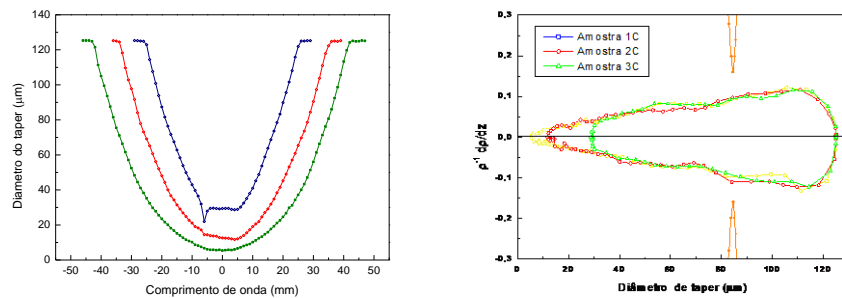


Figura 5- a)- Perfis geométricos das estruturas formadas de três filtros com $\alpha = -0,1$ e $L_0 = 14$ mm. b)- Derivada do perfil em relação a extensão $\rho^{-1}dp/dz$ em função do diâmetro para os três tapers e em vermelho a curva z_b^{-1} para a fibra mostrada na tabela 1, mostrando a região de acoplamento dos modos [CELASCHI, 2017].

4. Modelamento

O perfil geométrico produzido em um determinado comprimento de fibra óptica, depende da fonte térmica e da sua distribuição de temperatura. Este perfil depende, também, da taxa de alongação da fibra durante o processo de aquecimento e puxamento. A calibração experimental das propriedades do forno permite a predição numérica precisa do perfil do taper formado. Isto facilita o projeto dos procedimentos para puxamento de fibras ópticas, a serem utilizadas nas mais diversas áreas de aplicação, onde são requeridos o controle acurado do perfil das estruturas afuniladas. Serão apresentados a seguir os dois formalismos utilizados para o modelamento das estruturas afuniladas produzidas.

4.1- Equação de conservação de massa e momento axial

A evolução do perfil da estrutura afunilada durante o puxamento com diferentes alongamentos foi numericamente modelado mediante solução de duas equações diferenciais parciais acopladas, que relacionam a área da seção transversal normalizada $A_n(z,t)$ e $v(z,t)$ da fibra deformada. Isto porque estas equações estabelecem relações entre as taxas de variação ou fluxos destas quantidades. As equações que descrevem a conservação de massa e de momento axial são utilizadas para o modelamento, considerando as duas etapas de processo [GUERRA, 2019b].

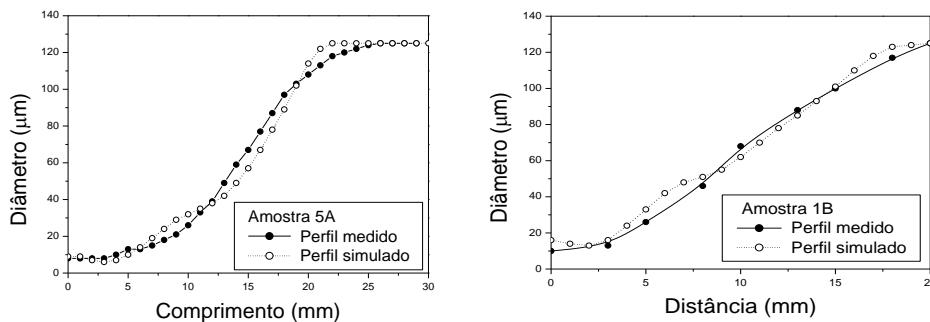


Figura 6- a)- Perfil geométrico medido da amostra 5A com forno estático e o perfil simulado em linha tracejada. b)- Perfil geométrico medido da amostra 1B com forno dinâmico e o perfil simulado em linha tracejada.

4.2- Modelo considerando a fonte de calor com extensão variável. [BIRKS, 1992]

Usando a equação 1 é possível traçar com facilidade o perfil geométrico das estruturas afuniladas, em função de α , do comprimento L_o e da extensão z . A variável α representa a variação de amplitude do movimento do maçarico em relação ao tempo de puxamento. Z_f é a extensão final do puxamento e L_w o diâmetro mínimo da estrutura, como pode ser observado na figura 7b.

$$r(\alpha, L_o, z) = r_o \left[1 + \frac{2\alpha(z_f - z)}{(1-\alpha)L_o} \right]^{-1/2\alpha} \quad (1)$$

$$L_w = L_o + 2 \cdot \alpha \cdot z_f \quad (2)$$

Amostras	Dw (μ)	Lw (mm)	Z (mm)	Ltotal (mm)
1 D	3.9	6.7	38.5	84
2 D	10.6	8.5	30	68.5
3 D	27.8	10.4	20	50.4

Tabela 2- Variáveis de processo das amostras mostradas na figura 5 a.

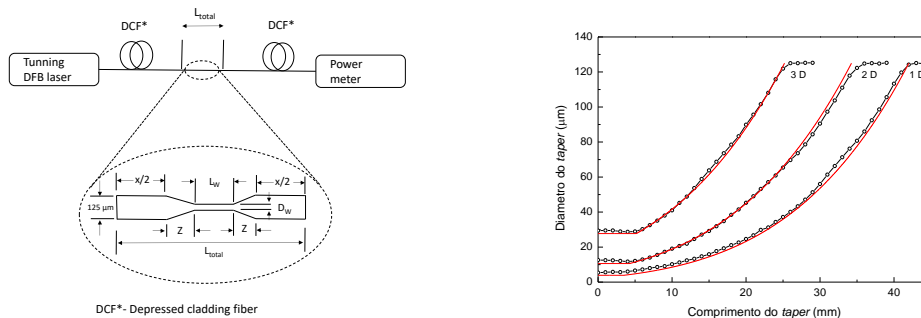


Figura 7- a)- Diagrama do sistema de puxamento e aquecimento, mostrando as variáveis de processo b)- Perfis das amostras 1 D, 2 D e 3 D. Nas linhas vermelhas são mostrados os resultados do modelamento usando as equações 1 e 2, a partir dos valores das variáveis de processo mostrados na tabela 2.

5. Conclusão

Este projeto de pesquisa contribuiu para o desenvolvimento do processo de puxamento e aquecimento de fibras ópticas especiais, com o objetivo de fabricar filtros com estruturas afuniladas. Foram utilizados equipamentos com diferentes sistemas de aquecimento e de puxamento das fibras ópticas, que produziram resultados particulares em cada um dos sistemas. Para cada deles foram elaborados metodologias e planejamentos experimentais visando a obtenção de melhoria de resultados. Foram utilizadas ferramentas de simulação numérica para uma melhor previsão do perfil geométrico formado.

Referências

- SYNDER A. W. & LOVE, J. D.** *Optical Waveguide Theory*. Boston, MA: Springer US, 1984.
- CELASCHI S. & MALHEIROS-SILVEIRA G. N.**, *High-Resolution and Low-Loss All-Fiber Spectral Filters Based on Biconic Tapers*, Journal of Lightwave Technology, vol. 35, no. 24, p. 5381–5384, Dec. 2017.
- GUERRA, C. P.; MALHEIROS-SILVEIRA G. N. & CELASCHI S.** *Thermal response of a narrowband optical filter based on biconically tapered depressed-cladding fiber*, Electronics Letters, Vol. 55 No. 15 p. 849–851, 2019a.
- GUERRA, C. P. & CELASCHI S.** *Simulação e produção de estruturas bicônicas em fibras ópticas pelo processo de fusão e puxamento*, Anais do 63 Congresso Brasileiro de Cerâmica, Bonito MS Brazil, 2019b.
- BIRKS, T.A. & Li, Y.W.** *The Shape of Fiber Tapers*, Journal of Lightwave Technology, vol. 10, no. 4, p. 432–438, April 1992.
- PRICKING S. & GIESSEN H.** *Tapering fibers with complex shape*, Optics Express vol. 18, no. 4, p. 3426–3437, February 2010.