



X Simpósio Brasileiro
de Microondas
e Optoeletrônica

Recife

12 a 16 de agosto @ Mar Hotel

Microondas e Optoeletrônica: Evolução, Tendências e Perspectivas

PROMOÇÃO

Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica

REALIZAÇÃO

Grupo de Fotônica
Dep. de Eletrônica e Sistemas
Universidade Federal de Pernambuco

EDITORES

Eduardo Fontana
Antonio Jeronimo Belfort de Oliveira

Sociedade Brasileira de Microondas e Optoeletrônica

Campus do Instituto Mauá de Tecnologia - IMT
Praça Mauá I, São Caetano do Sul - São Paulo 09.580-900
Tel/Fax.: +5511-42388988
E-mail: sbmo@netabc.com.br
<http://www.ufpa.br/sbmo>

**Grupo de Fotônica, Dep. de Eletrônica e Sistemas
Universidade Federal de Pernambuco**

Rua Acadêmico Hélio Ramos s/n
Cidade Universitária, Recife - Pernambuco 50.740-530
Tel/Fax: +5581-32718995
E-mail: fotonica@npd.ufpe.br
<http://www.fotonica.ufpe.br>

**Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica. 10. :
S612a 2002, Recife.**

Anais / X Simpósio Brasileiro de Microondas e
Optoeletrônica, Recife, 12-16 de agosto de 2002 ; editado
por Eduardo Fontana e Antonio Jeronimo Belfort
de Oliveira. – Recife : Sociedade Brasileira de Microondas
e Optoeletrônica, 2002.
758 p.

1. Microondas (Engenharia eletrônica) – Congressos.
2. Optoeletrônica – Congressos. – I. Fontana, Eduardo, ed. -
II. Oliveira, Antonio Jerônimo Belfort de, ed. - III. Título.

621.3813 - CDD 21.ed.

621.38152 - CDD 21.ed.

UFPE-CTG /2002

Recife, Pernambuco, Brasil
12 de agosto de 2002

ST9 - FIBRAS ÓPTICAS E DISPOSITIVOS A FIBRA 1

Terça-feira, 13/08/02

Salão Manuel Bandeira III-IV

Coordenador: Denise Consonni

- ST9.1** **Análise de Cornetas Acústicas Acopladas a Grades de Bragg**
8:00h *Carmem L. Barbosa, Osni Lisbôa, Rogério M. Cazo, Jorge L. S.Ferreira, Renato C. Rabelo, Haroldo T. Hattori*
- ST9.2** **Análise dos Parâmetros de Fibras Ópticas Polidas com Perfis de Índice de Refração Rebaixado e Elevado na Casca**
8:20h *Antônio Romeiro Sapienza, Marcelo F. Guimarães, Rafael Merenda Pereira*
- ST9.3** **Filtro tipo Dropping para Redes Ópticas Passivas WDM (PON – WDM)**
8:40h *Fábio Renan Durand, Ben-Hur Viana Borges, Maria Aparecida G. Martinez*
- ST9.4** **Modelagem do Meio Ativo dos Amplificadores Ópticos Baseados em Fibra Dopada a Érbio**
9:00h *Edward Horst Wolff, P. R. Cazêlato, Maria Aparecida Gonçalves Martinez*
- ST9.5** **Laser Wavelength Stabilization using FBGs: Performance Limits**
9:20h *Jônatas F. Rossetto, Elnatan C. Ferreira, Ôsni Lisboa*
- ST9.6** **Sistema de Aquisição de Imagens para Caracterização de Fibras Ópticas**
9:40h *Sérgio Campello Oliveira, Eduardo Fontana*

Filtro tipo Dropping para Redes Ópticas Passivas WDM (PON – WDM)

Fábio Renan Durand e Ben-Hur Viana Borges

Escola de Engenharia de São Carlos – USP Av. Trabalhador São-carlense, 400, Centro, 13566-590, São Carlos, SP

Maria Aparecida G. Martinez

Universidade Presbiteriana Mackenzie – Rua da Consolação, 930, Consolação, 01302-907, São Paulo, SP

D9484

Resumo — Neste trabalho é proposta e analisada uma nova configuração de filtro tipo *dropping* para aplicação em redes ópticas passivas (PON–WDM). Este dispositivo é baseado em uma estrutura DBR inscrita numa fibra tipo D e guia de onda ARROW. Neste dispositivo, os comprimentos de onda são extraídos e detectados pelo fotodetector integrado no substrato de silício do guia ARROW. O dispositivo apresentou os seguintes resultados: Isolação de –31,8 dB entre os canais separados em 0,8 nm, largura de banda de 2,5 GHz (5 Gbps – NRZ) e baixas perdas de inserção.

Palavras-chaves — PON–WDM, Filtro *Dropping*, DBR, ARROW.

I. INTRODUÇÃO

A sociedade atual está vivendo umas das maiores revoluções já presenciadas pela humanidade, ou seja, uma revolução baseada na informação. O bem mais valioso, tanto de um indivíduo como de corporações empresariais, consiste no poder de gerar, absorver e transmitir informações. Assim, a transmissão eficiente deste bem valioso tornou-se o elemento chave em sistemas de telecomunicações [1]. O meio mais eficiente para a transmissão de informações em grandes distâncias e altas velocidades é, sem dúvidas, a fibra óptica. No entanto, sua utilização em redes metropolitanas MAN (*Metropolitan Area Network*) e redes de acesso ainda não está consolidada [1]. A tendência atual em termos da evolução das redes ópticas é estender as fibras ópticas até o usuário final [2]. Como no caso do FTTH (*Fiber to the Home*), onde as fibras alcançam a casa de cada usuário [2][3]. A forma mais viável economicamente de aproximar o usuário dos benefícios das redes ópticas de alta capacidade é o emprego de redes ópticas passivas PON (*Passive Optical Network*). Estas redes tem utilizado com enorme sucesso a tecnologia de multiplexação em comprimento de onda (WDM) [3]. Este tipo de rede apresenta a flexibilidade de suportar tanto *broadcast* como serviços ponto a ponto. Neste tipo de rede a taxa de transmissão pode variar entre 622 Mbps (OC-12), 1,25 Gbps (Gigabit Ethernet) ou 2,5 Gbps (OC-48) [4]. Um dos requisitos mais importantes para o aumento da capacidade dos sistemas ópticos WDM é o aumento do

número de canais na faixa de comprimentos de onda de ganho dos amplificadores ópticos EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) [4]. Para viabilizar este aumento do número de canais é necessária a utilização de dispositivos com alta seletividade em comprimento de onda, como por exemplo os filtros ópticos. Este artigo propõe o projeto e a modelagem de um filtro tipo *dropping* para redes ópticas passivas multiplexadas em comprimento de onda (PON – WDM), como a ilustrada na Fig. 1. Este tipo de rede efetua a retirada de um comprimento de onda em cada filtro tipo *dropping*. O comprimento de onda é selecionado no filtro óptico e a informação é transmitida até o usuário por meio de par trançado ou cabo coaxial. As principais características que este tipo de filtro deve apresentar são baixas perdas de inserção, alto grau de isolamento entre os canais, insensibilidade à polarização e resposta espectral plana [5].

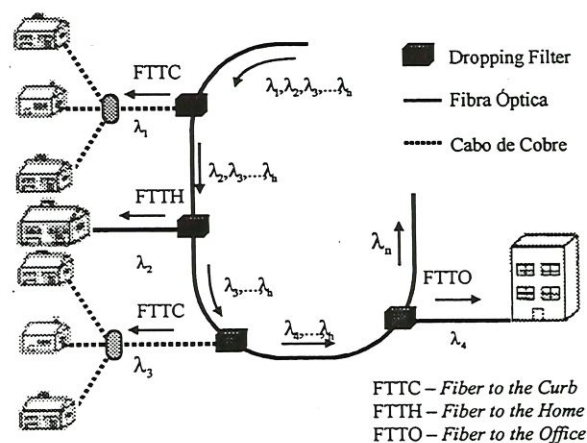


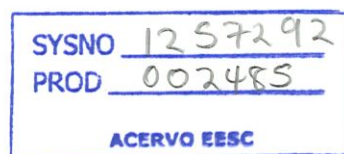
Fig. 1 – Rede Óptica Passiva (PON – WDM) empregando filtros tipo *dropping* para retirada do sinal óptico [5].

A Fig. 2 ilustra o filtro tipo *dropping* proposto neste artigo. Este filtro consiste na combinação de três estruturas distintas em um mesmo dispositivo, ou seja, uma fibra óptica tipo D, um duplo refletor de Bragg (DBR) [6], e um guia de onda ARROW (*Antiresonant Reflecting Optical Waveguides*) [7]. O dispositivo extrai e detecta o comprimento de onda para o qual foi dimensionado da seguinte forma: o DBR atua selecionando um comprimento de onda que satisfaz sua condição de ressonância. Este comprimento de onda seria normalmente transmitido, entretanto, a presença do guia de onda ARROW induz perdas por *leakage* (vazamento de potência óptica) altíssimas neste comprimento de onda. A indução destas perdas faz com que este comprimento de onda

F. R. Durand, frdurand@sel.eesc.sc.usp.br, B. V. Borges, benhur@sel.eesc.sc.usp.br, Tel +55-16-2739366, ramal 217, Fax +55-16-2739372; M. A. G. Martinez, magmartinez@mackenzie.com.br, Tel. +55-11-32368711, Fax +55-11-3236-8600

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FAPESP (processo No. 00/08963-2), CNPq Processo RD-300834/97-7 e Fundo de Pesquisa Mackenzie (Mackpesquisa No. 012/99).

1257292
290802



seja direcionado até o fotodetector localizado no substrato. A análise deste dispositivo consiste na caracterização dos efeitos de cada estrutura que o compõe. Esta análise está organizada da seguinte forma: A seção II realiza a caracterização de cada uma das três estruturas que compõem o dispositivo bem como a descrição dos métodos de análise empregados. A seção III apresenta os resultados obtidos com as simulações destas estruturas e apresenta um dispositivo com parâmetros otimizados. Finalmente, a seção IV apresenta as conclusões sobre o dispositivo proposto.

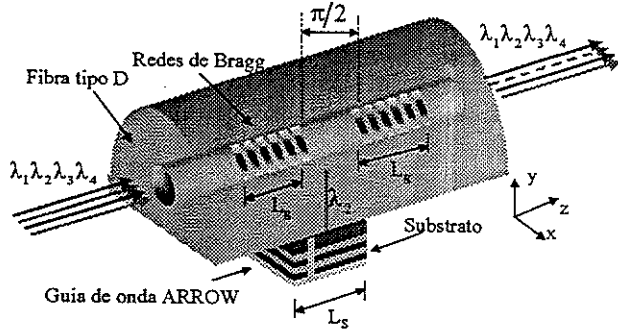


Fig. 2 – Dispositivo proposto: Filtro *dropping* composto por uma fibra tipo D com redes de Bragg (DBR) sobre um guia de onda ARROW. L_g é o comprimento de cada seção de rede de Bragg e L_r é o comprimento que fornece a defasagem de 90° entre as duas redes.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A seguir são ilustradas as características de cada estrutura que compõe o dispositivo proposto.

A. Fibra tipo D

A análise do dispositivo proposto neste artigo tem início com a caracterização da fibra tipo D. A fibra óptica tipo D foi escolhida neste trabalho devido à necessidade de se diminuir as perdas por inserção no enlace óptico. Estas perdas seriam maiores se fosse utilizado um guia de onda retangular devido a grande diferença de geometria entre o guia de onda retangular e a fibra do enlace óptico [8]. Com o objetivo de efetuar uma análise precisa das características deste tipo de fibra, o método da sobre-relaxação sucessiva SOR (*Successive over-relaxation*) é empregado [9]. A fibra tipo D utilizada no dispositivo proposto é ilustrada na Fig. 3 e apresenta os seguintes parâmetros: $n_{\text{Casca}}=1,458$; $n_{\text{Núcleo}}=1,465$; raio do núcleo = $4 \mu\text{m}$; espessura $S = 1 \mu\text{m}$ e $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$. Neste trabalho a polarização horizontal do modo fundamental HE_{11} é representada pelo modo TE_0 e a polarização vertical pelo modo TM_0 [10].

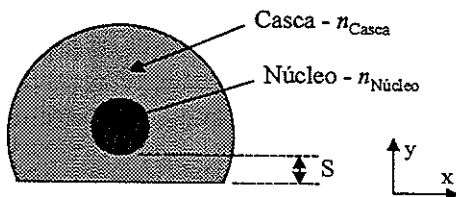


Fig. 3 – Seção transversal de uma fibra óptica com perfil tipo D. A espessura S permite controlar a intensidade de campo evanescente na seção reta.

Empregando estes parâmetros no método SOR foram obtidos os seguintes resultados: índice efetivo $n_{\text{TE}}=1,4611623$ para o modo TE_0 e $n_{\text{TM}}=1,4611723$ para o modo TM_0 . Estes resultados são empregados como parâmetros de entrada no projeto do DBR que será discutido a seguir.

B. Duplo Refletor de Bragg (DBR)

Este tipo de estrutura caracteriza-se pela introdução de uma defasagem $\pi/2$ entre duas seções de rede de Bragg. Esta defasagem comporta-se como uma cavidade ressonante e o efeito resultante é o surgimento de um pico de transmissão no centro do espectro de reflexão da rede de Bragg. O comprimento desta cavidade é L_s como ilustra a Fig. 2. Este pico de transmissão caracteriza-se por ser muito estreito, em torno de $1 \text{ \AA}$, e confere ao filtro uma alta razão de extinção [11]. A razão de extinção é a diferença de atenuação medida entre os comprimentos de onda transmitidos e refletidos. Esta largura de banda estreita habilita este tipo de filtro para aplicações como a proposta neste trabalho, visto que em redes de acesso tais como as redes (PON – WDM) a largura de banda requerida por canal não excede este valor. Filtros com a configuração DBR estão sendo largamente empregados em redes ópticas passivas WDM para serviços de *broadcast* [11]. No projeto e análise do DBR empregado neste trabalho é utilizado o programa FOGS-BG[®] que baseia suas simulações na teoria dos modos acoplados [12]. Como parâmetros de entrada no programa FOGS-BG[®] utiliza-se o índice efetivo do modo analisado (proveniente da análise da fibra tipo D utilizando o SOR), o período da rede de Bragg e o confinamento de energia no núcleo da fibra óptica.

C. Guia de onda ARROW

O guia de onda ARROW (*Antiresonant Reflecting Optical Waveguide*) foi originalmente proposto por Duguay *et al* em 1986 [7]. Este tipo de guia de onda emprega o princípio das reflexões anti-ressonantes no confinamento do sinal óptico. As principais características que apresentam são perdas de propagação baixíssimas e perdas seletivas quanto à polarização e ao comprimento de onda [7]. Porém, após a realização de uma criteriosa revisão bibliográfica, foi verificada a inexistência de uma configuração de guias ARROW que atendessem os requisitos dos sistemas WDM atuais no que diz respeito à separação e isolamento entre os canais. Portanto, o que se espera obter neste projeto é uma estrutura com uma separação entre canais de $0,8 \text{ nm}$ com o mínimo possível de diafonia. A estrutura proposta é ilustrada na Fig. 4. Esta estrutura consiste de um corte longitudinal da fibra tipo D acoplada a uma estrutura multicamada com características de um guia de onda ARROW. Nesta estrutura a fibra tipo D é colada sobre a estrutura planar por meio do polímero PMMA (polimetil metacrilato) preparado para apresentar índice de refração de $1,458$ [13]. Nesta estrutura a Camada1 é projetada para funcionar como um refletor para a luz confinada no núcleo da fibra óptica. Tanto a Camada1 quanto a Camada3 são compostas de Si para que a refletividade seja máxima e, assim, apresentem características

de transmissão de um ressoador Fabry-Perot. Isto se explica pelo fato destas camadas possuírem índices de refração muito mais altos que as demais camadas, fazendo com que as interfaces Si-SiO₂ comportem-se como espelhos paralelos.

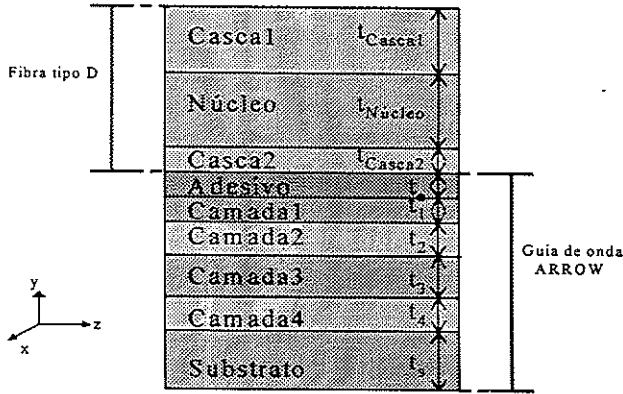


Fig. 4 – Estrutura formada pela combinação da fibra tipo D e guia de onda ARROW.

Portanto, os raios ópticos que incidem na Camada1 e não satisfazem a condição de ressonância apresentam coeficientes de reflexão de 99,96%. Esta camada é projetada para a condição de anti-ressonância para a faixa de comprimentos de onda do amplificador EDFA. As demais camadas, com exceção da Camada3, realizam a função de isolamento e são compostas de SiO₂ com índice de refração de 1,458. A Camada3 é responsável por efetuar a seletividade em comprimento de onda. Esta camada é composta de Si e também apresenta as características de um ressoador Fabry-Perot. Porém, esta camada é projetada para a condição de ressonância no comprimento de onda que se deseja detectar no substrato. A largura de banda do sinal detectado no substrato é dada por:

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_c}{m \times F} \quad (1)$$

onde $\Delta\lambda$ é a largura de banda medida em 3 dB, λ_c é o comprimento de onda detectado, m é a ordem de ressonância da Camada3 e F é a finesse. A finesse é função da refletividade das interfaces entre as camadas adjacentes [14] e portanto é constante. Desta forma, o controle da largura de banda é realizada pela alteração da ordem de ressonância da Camada3. Nesta estrutura, o substrato é constituído por um *wafer* de Si que fornece estabilidade mecânica, além de facilitar a integração com outros elementos eletrônicos, tais como o fotodetector. A análise da estrutura multicamada é realizada por meio da Técnica da Matriz Transferência (TMT) descrita em [15]. Esta estrutura apresenta perdas por *leakage* elevadas apenas para o comprimento de onda que se deseja detectar (drop). Por outro lado, as perdas por *leakage* do modo TM₀ são maiores que as perdas por *leakage* do modo TE₀. Isto ocorre porque o coeficiente de reflexão dos modos TM é menor que o dos modos TE [7]. Portanto, a estrutura multicamada não seria eficiente para detectar ambas polarizações TE e TM. Como forma de contornar esta sensibilidade à polarização, propõe-se a utilização da

configuração ilustrada na Fig. 5. Esta configuração utiliza uma estrutura multicamada de comprimento L_{TM} projetada para detectar o modo TM₀ e outra estrutura de comprimento L_{TE} projetada para detectar o modo TE₀. Com o objetivo de equalizar as perdas por *leakage*, serão utilizados comprimentos diferentes para as seções L_{TM} e L_{TE} . Esta estrutura possui o mesmo comprimento que a cavidade ressonante da estrutura DBR.

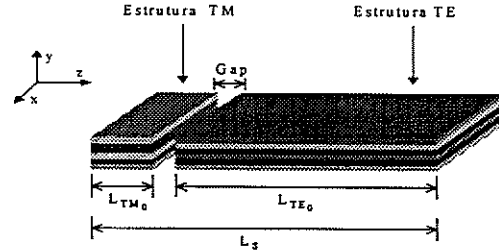


Fig. 5 – Configuração formada com estruturas multicamadas TE₀ e TM₀.

III. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados da estrutura multicamada ARROW e do DBR.

O comportamento da estrutura multicamada está diretamente relacionado às Camadas 1 e 3, pois a característica Fabry-Perot destas camadas controla tanto as perdas por *leakage* quanto a seletividade em comprimento de onda do dispositivo. As Figs. 6(a) e 6(b) ilustram as perdas por *leakage* em função da espessura destas camadas.

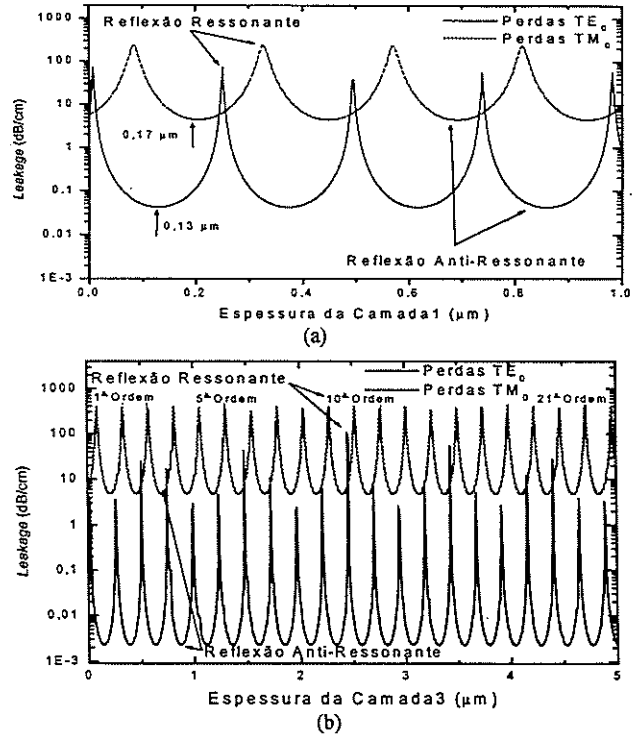


Fig. 6 – Comportamento do *leakage* em função da variação da espessura para as estruturas TE e TM, para Camada1 (a) e Camada3 (b), respectivamente.

A Camada1 é projetada para satisfazer a condição de anti-ressonância. Desta forma, a espessura desta camada é escolhida de maneira a satisfazer a primeira ordem de anti-ressonância, $t_1 = 0,13 \mu\text{m}$ para o modo TE_0 e $t_1 = 0,17 \mu\text{m}$ para o modo TM_0 (Fig. 6(a)). De acordo com (1), quanto maior a ordem de ressonância das perdas por *leakage* em função da espessura da camada, menor será a faixa espectral livre (FSR) entre o sinal detectado pelo fotodetector no substrato e o próximo comprimento de onda de ressonância. O FSR é a distância entre os picos de ressonância. Portanto, deve haver um compromisso na escolha da ordem de ressonância (m) para a obtenção de uma largura de banda e FSR adequadas. Desta forma, a espessura da Camada3 será correspondente à 21ª ordem de ressonância (Fig. 6(b)). Ordens de ressonância superiores acarretam o aparecimento de outro pico de ressonância na faixa de comprimentos de onda de atuação do dispositivo. A TABELA I lista os parâmetros otimizados para a estrutura multicamada.

TABELA I DADOS DA ESTRUTURA MULTICAMADA

Estrutura TM_0				Estrutura TE_0			
Camada	Mat.	n	Esp(μm)	Mat.	n	Esp(μm)	
Casca1	SiO_2	1,458	∞	SiO_2	1,458	∞	
Núcleo	SiO_2	1,465	8,0	SiO_2	1,465	8,0	
Casca2	SiO_2	1,458	1,0	SiO_2	1,458	1,0	
Adesivo	PMMA	1,458	0,3	PMMA	1,458	0,3	
Camada1	Si	3,5	0,13	Si	3,5	0,17	
Camada2	SiO_2	1,458	0,5	SiO_2	1,458	0,5	
Camada3	Si	3,5	4,892	Si	3,5	4,895	
Camada4	SiO_2	1,458	0,9	SiO_2	1,458	0,9	
Substrato	Si	3,5	∞	Si	3,5	∞	

Empregando uma estrutura multicamada com os dados listados na tabela acima e utilizando um comprimento $L_{\text{TM}} = 100 \mu\text{m}$ para a estrutura TM_0 e $L_{\text{TE}} = 1,7 \text{ mm}$ para a estrutura TE_0 , obtêm-se as perdas por *leakage* em função do comprimento de onda como ilustra a Fig. 7.

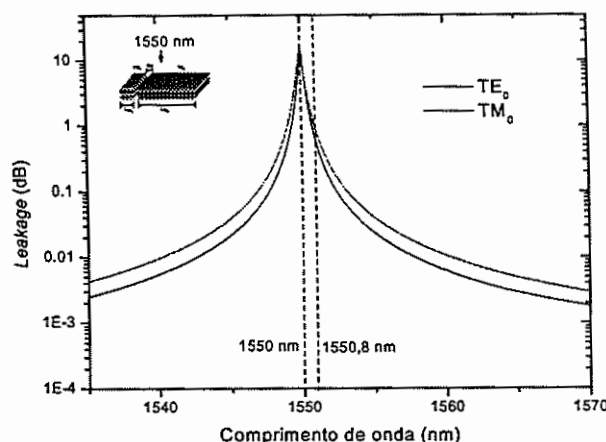


Fig. 7 – Perdas por *leakage* do modo TM_0 e TE_0 em duas estruturas projetadas para detectar os comprimentos de onda de 1550nm.

Esta configuração apresenta perdas de mesma magnitude para os modos TE e TM . Entretanto, foi observado que as perdas por inserção no canal adjacente, separado em 0,8 nm do canal detectado, apresenta uma pequena sensibilidade quanto à polarização modal. Esta curva de perdas será inserida na estrutura DBR para a caracterização do comportamento do dispositivo.

A seguir será analisada a estrutura DBR empregando o programa FOGS-BG®. O DBR inscrito na fibra tipo D apresenta seções de rede de difração de 1,5 mm de comprimento com máxima variação de índice de refração de 2×10^{-3} . Apesar do fato da fibra tipo D apresentar características de assimetria, as duas polarizações que constituem o modo fundamental apresentam índices efetivos muito próximos, com birrefringência igual a 0,00001. Sendo assim, pode-se considerar a estrutura DBR insensível à polarização como ilustra a Fig. 8. Nesta figura é ilustrado o espectro de transmitância para dois DBR's, sendo um projetado para o modo TE_0 e outro para o modo TM_0 . Nesta estrutura não foram consideradas as perdas induzidas pela estrutura ARROW. Como pode ser visto, ambas estruturas foram projetadas para o mesmo comprimento de onda central.

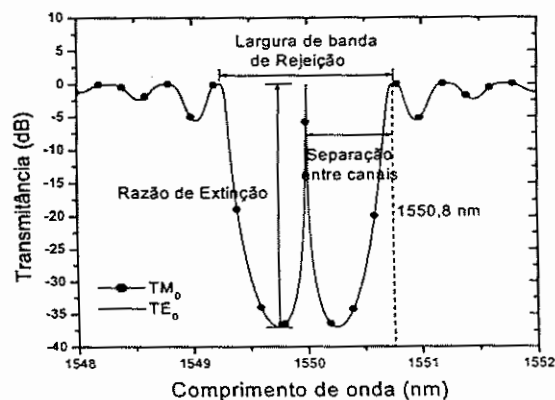


Fig. 8 – Transmitância da estrutura DBR empregada no dispositivo proposto.

As características obtidas para o DBR foram: razão de extinção de -37 dB, largura de banda de rejeição de 0,16 nm e separação entre os canais adjacentes de 0,8 nm. A largura de banda apresentada é de 0,2 Å (2,5 GHz) e, portanto, suporta uma taxa de transmissão de 5 Gbps com codificação NRZ. Esta largura de banda é suficiente para atender o tipo de aplicação proposta para o dispositivo. Verifica-se que mesmo a estrutura DBR sendo insensível à polarização, a cavidade ressonante de comprimento L_s pode apresentar variação do comprimento óptico devido à presença da estrutura multicamada que apresenta índices efetivos distintos para modos TE e TM . Na análise da estrutura multicamada ilustrada na Fig. 4, empregou-se a TMT e obteve-se os seguintes resultados: índice efetivo $n_{\text{TE}} = 1,4633$ para o modo TE_0 e índice efetivo $n_{\text{TM}} = 1,4634$ para o modo TM_0 . Por meio destes índices efetivos determina-se a variação do comprimento óptico para cada modo. No exemplo acima foram utilizadas duas cavidades distintas (uma projetada para o modo TE e outra TM). No entanto, o dispositivo ilustrado

na Fig. 2 suporta apenas uma única estrutura DBR. Sendo assim, torna-se conveniente investigar a influência do modo TE em uma cavidade projetada para o modo TM, e vice versa. A Fig. 9 ilustra a resposta de uma estrutura DBR projetada para o modo TE₀ com a inserção de perdas da estrutura multicamada TE₀ e TM₀ (Fig. 7). Nesta estrutura são analisados os efeitos dos modos TE₀ e TM₀.

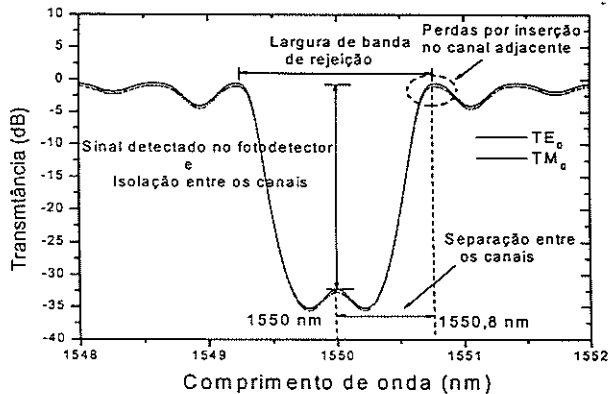


Fig. 9 – Espectro de transmitância para o DBR projetado para o modo TE₀ com a inserção de perdas da estrutura multicamada TM₀ e TE₀.

Observe que não houve variação no comprimento de onda de ressonância devido à presença da estrutura multicamada. Para esta estrutura foi obtida uma isolacão de -31,8 dB entre o canal detectado no substrato e o canal adjacente tanto para modos TE₀ quanto para TM₀. As perdas por inserção foram de 0,56 dB para o modo TE₀ e 1,01 para o modo TM₀. A Fig. 10 ilustra a resposta de uma estrutura DBR projetada para o modo TM₀ com a inserção de perdas da estrutura multicamada TE₀ e TM₀ (Fig. 7).

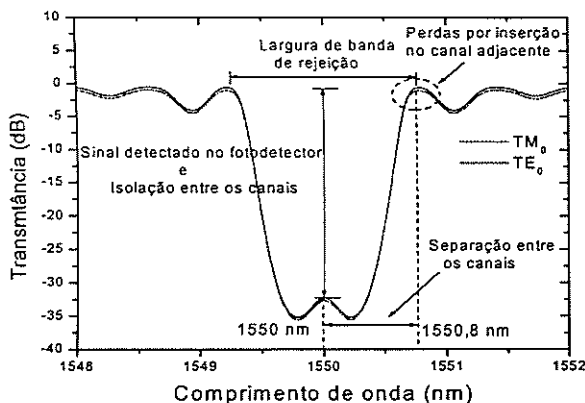


Fig. 10 – Espectro de transmitância para o DBR projetado para o modo TE₀ com a inserção de perdas da estrutura multicamada TM₀ e TE₀.

Observe que os mesmos resultados obtidos para a estrutura DBR projetada para o modo TE₀ foram também obtidos para a estrutura projetada para o modo TM₀. O comportamento global do dispositivo é resumido na TABELA II.

TABELA II RESULTADOS DO DISPOSITIVO

	Isolacão (dB)	Perdas Inserção (dB)	$\Delta\lambda$ (GHz)
TE ₀	-31,8	0,56	2,5
TM ₀	-31,8	1,01	2,5

Estes resultados habilitam o dispositivo como um bom candidato à aplicacão como filtro tipo *dropping* para redes (PON – WDM), principalmente devido às baixas perdas por inserção.

IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi proposta e analisada uma nova configuracão de filtro tipo *dropping* para aplicacões em redes PON – WDM. Este dispositivo é baseado em uma estrutura DBR inscrita em uma fibra tipo D em conjunto com guias de onda tipo ARROW. O dispositivo aqui proposto apresentou os seguintes resultados: Espaçamento entre canais de 0,8nm, isolacão de -31,8 dB, largura de banda de 2,5 GHz (5 Gbps – NRZ), e perdas de inserção de 0,56 dB para o modo TE₀ e 1,01 dB para o modo TM₀. Estas perdas, embora baixas, apresentaram ligeira sensibilidade à polarizacão. De uma forma geral o dispositivo apresenta um bom comportamento e surge como uma nova possibilidade para aplicacão em redes PON – WDM.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Listanti and V. Eramo, "Architectural and technological issues for future optical internet networks", *IEEE Communications Magazine*, pp. 82–92, setembro de 2000.
- [2] R. C. Alfemess, H. Kogelnik and T. Wood, "The evolution of optical systems: optics everywhere", *Bell Labs Technical Journal*, pp. 188 – 202, janeiro/março de 2000.
- [3] F. J. Effenberger, H. Ichibangase and H. Yamashita, "Advances in broadband passive optical networking technologies", *IEEE Communications Magazine*, pp. 118 – 124, dezembro de 2001.
- [4] P. Iannone, K. Reichmann and N. Frigo, "High-speed point-point and multiple broadcast services delivered over a WDM passive optical network", *IEEE Photonic Technology Letters*, vol. 9, n. 10, pp. 1328–1330, setembro 1998.
- [5] K. Park, Y. Lee, M. Kim and Y. Won, "All-fiber drop-pass filters with fiber Bragg gratings", *Journal of Lightwave Technology*, vol 10, n. 4, pp. 555–557, abril de 1998.
- [6] F. Bakhti and P. Sansonetti, "Wide bandwidth, low loss and rejective doubly phase-shifted UV-written fibre bandpass filter", *Electronics Letters*, vol. 32, n. 6, pp. 581–582, 1996.
- [7] M. A. Duguay, Y. Kokubun and T. L. Koch, "Antiresonant reflecting optical waveguides", *Applied Physics Letters*, vol. 49, n. 1, pp. 13–15, julho de 1986.
- [8] A. Roberts, K. Nugent, S. Huntington, P. Mulvaney and K. Lo, "Field characterization of D-shaped optical fiber using scanning near-field optical microscopy", *J. Applied Physics*, vol. 82, n. 2, pp. 510–513, julho de 1997.
- [9] C. A. de Francisco, B. V. Borges and M. A. Romero "A semivectorial iterative finite-difference method to model photonic crystal fibers", 2001 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronic Conference-IMOC 2001, 6-10 de Agosto, Belém, Brazil.
- [10] G. P. Agrawal, *Fiber-Optic Communication Systems*, New York, Wiley Interscience, 1992, pp.35.
- [11] J. Damask and H. Haus, "Wavelength-division multiplexing using channel-dropping filters", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 11, n. 3, pp. 424 – 428, março de 1993.
- [12] Apollo Photonics, Hamilton, ON, Canada, (<http://www.apollophoton.com>).
- [13] S. Lee, J. Sokoloff, P. McGinnis and H. Sasabe, "Polymer waveguide overlays for side-polished fiber devices", *Applied Optics*, vol. 37, n. 3, pp 453–462, janeiro de 1998.
- [14] A. Yariv, *Optical Electronics*, Harcourt Brace Jovanovich College Publishers, 1991, pp. 117.
- [15] K. Schlereth and M. Tacke, "The complex propagation of multiplayer waveguides: an algorithm for a personal computer", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 26, n. 4, pp. 627– 630, abril de1990.