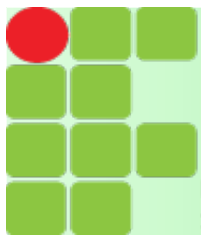


**INSTITUTO FEDERAL**  
SANTA CATARINA

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina  
Campus São José – Área de Telecomunicações

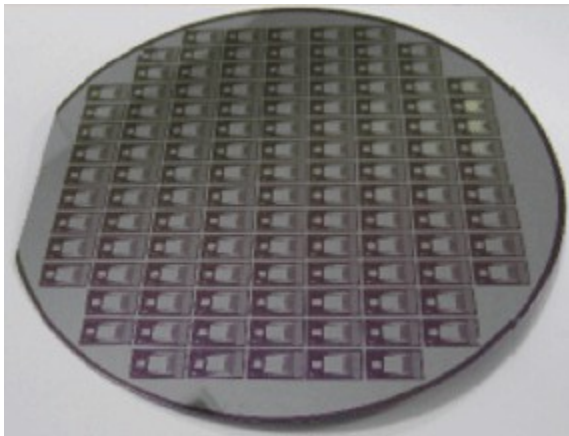
# **Filtros, Multiplexadores, Demultiplexadores Compensadores de Dispersão**



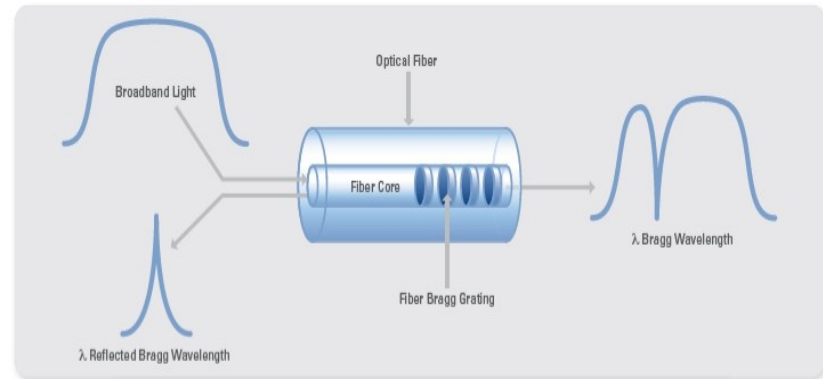
# Filtros

Filtros de  $\lambda$  são necessários nos sistemas ópticos que utilizam WDM e para diminuir a dispersão cromática em sistemas que transmitem com um único  $\lambda$ . Existem hoje duas tecnologias para fabricação de filtros:

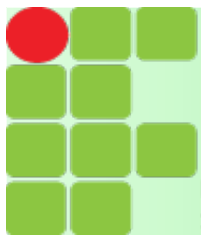
- a) óptica integrada – os filtros são construídos em semicondutores, compostos por guias de onda retangulares.
- b) fibra óptica – os filtros são construídos através de mudanças na estrutura da fibra óptica.



Fonte:www.santec.com



Fonte:www.ni.com

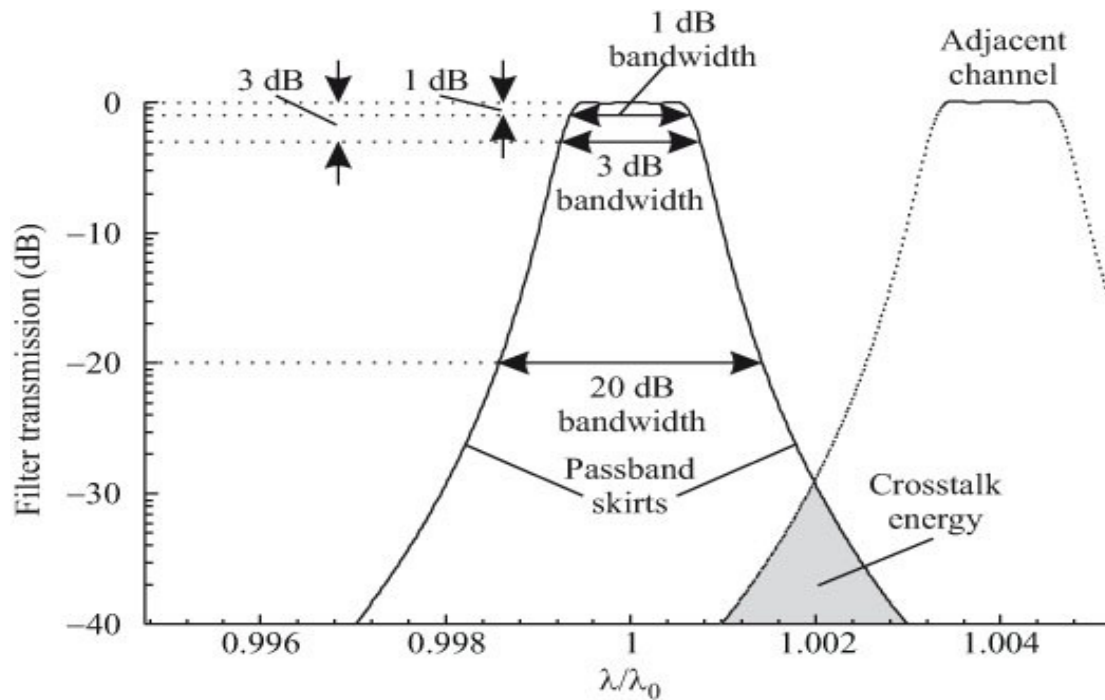


# Filtros

São características importantes dos filtros:

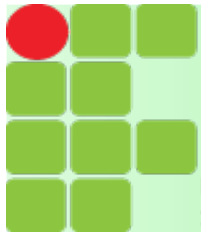
- 1) Largura de faixa estreita – com o aumento do uso dos sistemas WDM, a largura dos filtros, medidas considerando uma queda de 1 dB, devem ser estreitas o suficiente para não ocorrer interferência entre canais adjacentes.
- 2) Baixa perda de inserção
- 3) Independência em relação a polarização da luz – a polarização da luz na fibra muda aleatoriamente com a temperatura e outras variantes do ambiente.
- 4) Estabilidade em função de mudanças na temperatura ambiente.
- 5) Baixo custo.
- 6) Comportamento em relação ao  $\lambda$  plano na faixa de sua BW com queda acentuada após 1 dB de perda.

# Filtros



Caracterização de alguns importantes parâmetros dos filtros ópticos.  $\lambda_0$  é o comprimento de onda central do filtro.

Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network



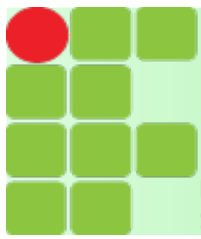
# Grade de Bragg

Grades de Bragg são formadas através da variação do índice de refração do meio pelo qual a luz se propaga.

Em sistemas ópticos são utilizadas com diferentes finalidades, sempre associadas a seleção de  $\lambda$ . Nos laser DFB e DBR são empregadas para diminuir a largura espectral da luz gerada. Quando produzidas em seções de uma fibra óptica são utilizadas como filtros e compensadores de dispersão.

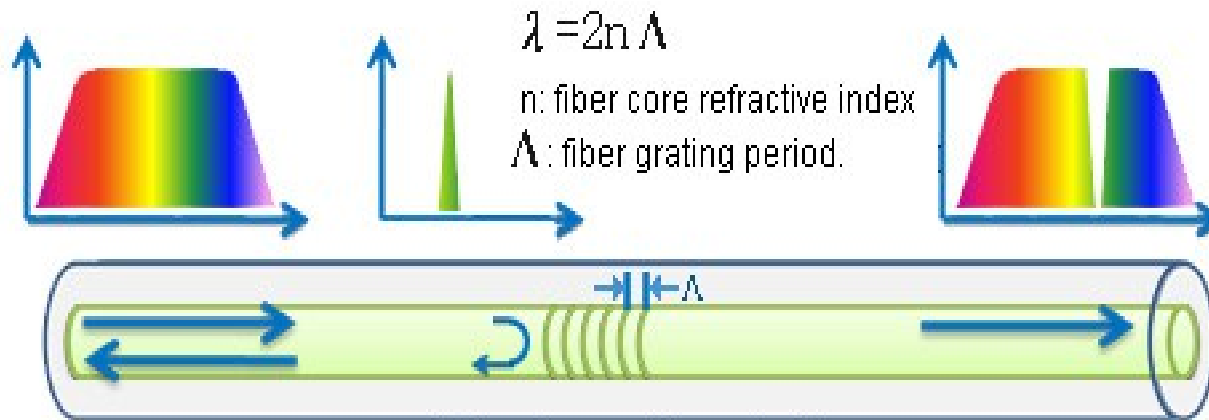
As grades de Bragg podem também ser empregadas como sensores de pressão, temperatura, esforço ...

**Processo de fabricação da grade de Bragg e suas aplicações.**



# Grades de Bragg

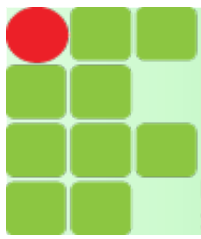
A grade de Bragg é formada por um trecho de fibra óptica que apresenta variações periódicas do índice de refração do núcleo.



Fonte: [www.jphotonics.com](http://www.jphotonics.com)

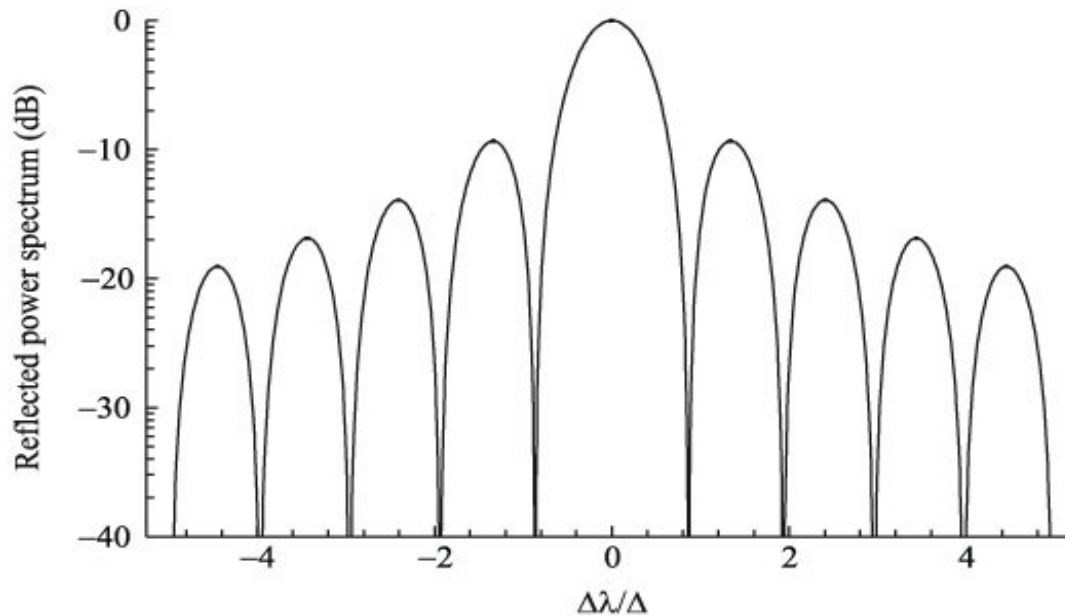
O  $\lambda = 2n\Lambda$  será refletido nas seções da grade. A energia da onda que se propaga da esquerda para direita, devido a variação periódica do índice de refração, será acoplada via espalhamento a um modo de propagação com sentido oposto.

Na equação acima  $n$  é o índice de refração efetivo do núcleo da fibra e  $\Lambda$  é o período da grade

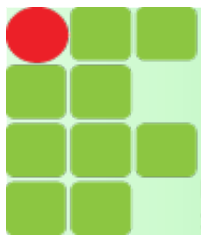


# Grades de Bragg

Quando a grade de Bragg é formada por mudanças abruptas do índice de refração, sua resposta espectral apresenta vários lóbulos além do lóbulo principal.

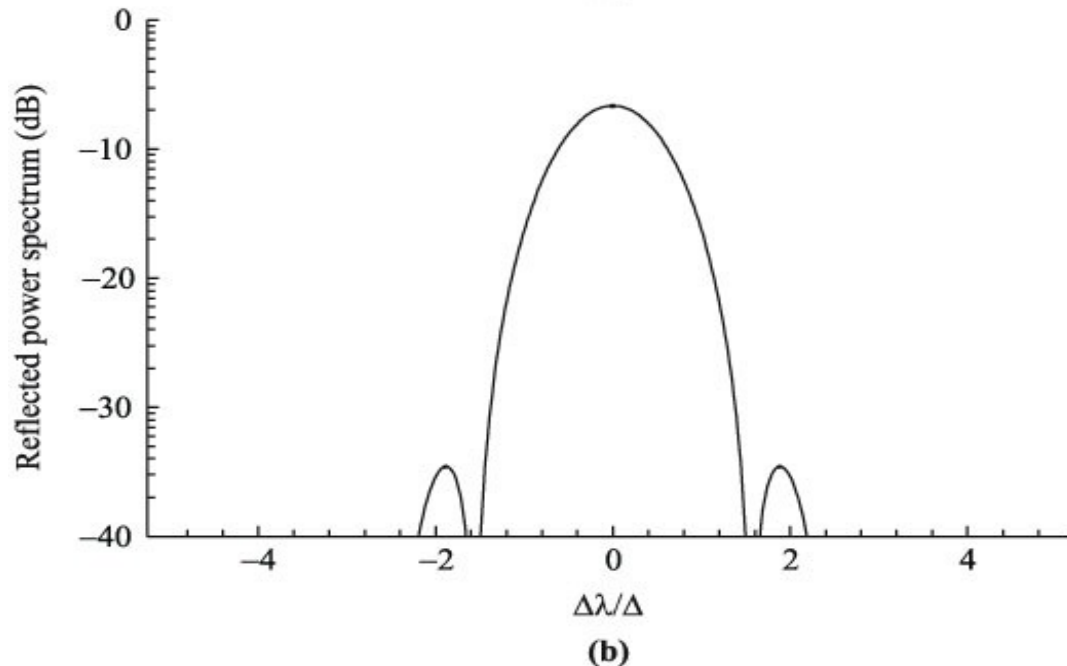


Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network



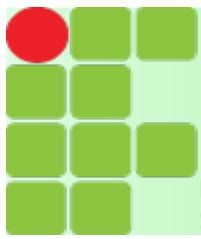
# Grades de Bragg

Para diminuir a quantidade de lóbulos a variação do índice de refração é realizada gradualmente. A esse processo é dado o nome de *apodization*. Grades de Bragg *apodized* possuem lóbulo principal mais largo, porém com resposta mais plana e com forte atenuação dos demais lóbulos.



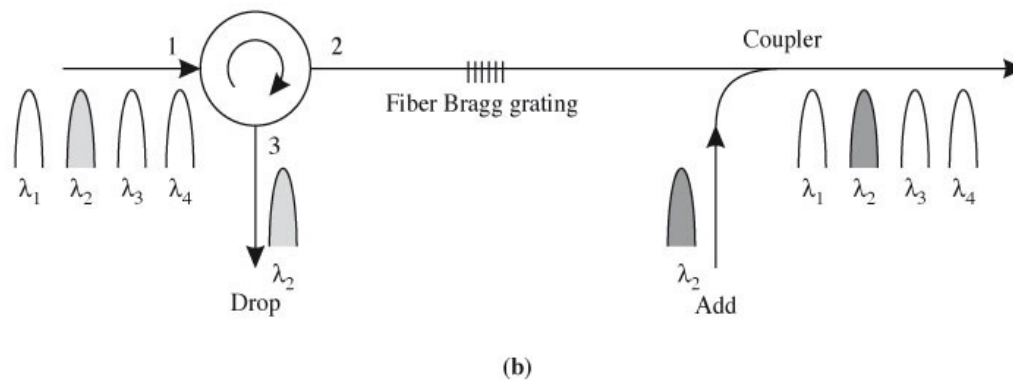
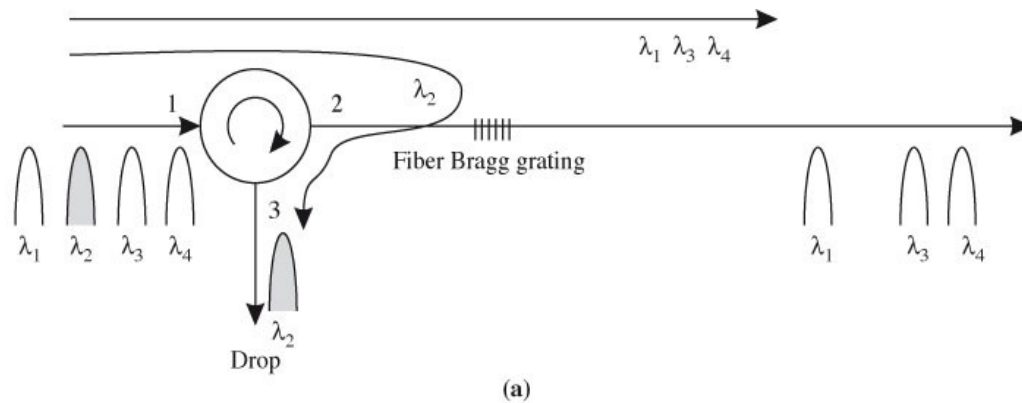
Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network

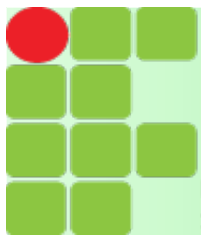




# Grades de Bragg

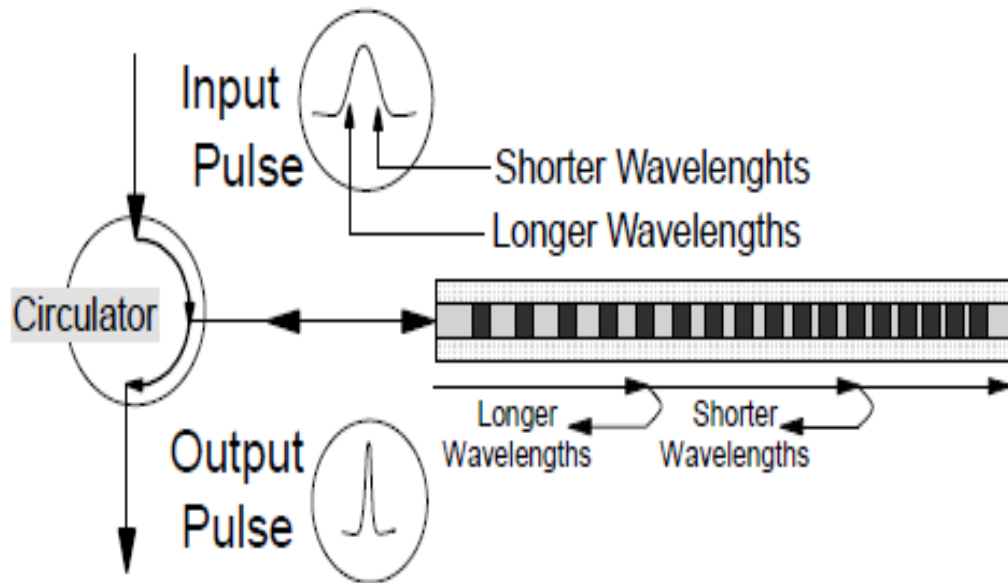
As grades de Bragg são utilizadas na construção de equipamentos add/drops (ADMs) em redes WDM.



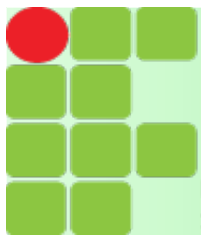


# Grades de Bragg

Compensador de dispersão a base de grade de Bragg

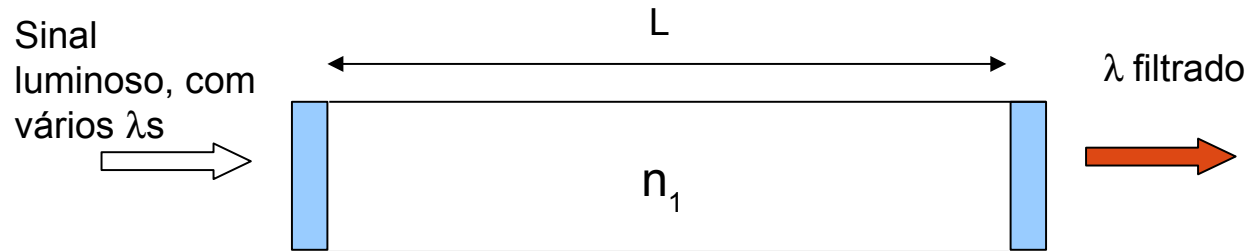


Fonte: [www.redbooks.ibm.com](http://www.redbooks.ibm.com)



# Filtro Fybre-Perot – Elaton Interferômetro

Um filtro Fybre-Perot é construído através da óptica integrada. Neste filtro o sinal luminoso passa através de uma cavidade ressonante, a qual apresenta espelhos em cada uma das suas extremidades. Esses espelhos não são totalmente reflexivos o que permite que parte da luz escape para o meio externo da cavidade.

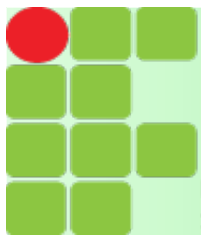


Devido aos espelhos, todos os  $\lambda$ s que se propagam serão refletidos várias vezes, gerando interferências. Os  $\lambda$  que atende a relação:

$$L = m \frac{\lambda}{2}$$

terão interferências construtivas e, aos poucos, a energia desses  $\lambda$ s sairão pelo segundo espelho em fase.

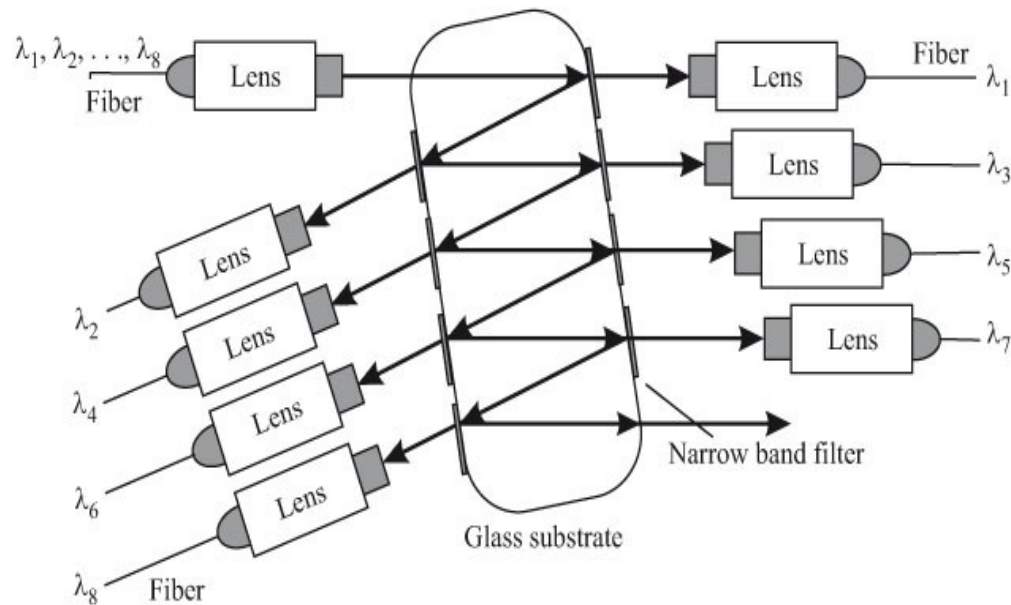
Para os demais  $\lambda$ s as interferências serão destrutivas consumindo a maior parte da energia desses.



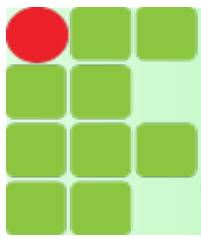
# Filtros TFMF (filtro com múltiplas camadas finas de filme)

Os TFMF apresentam funcionamento semelhante aos filtros Fybre-Perot, porém no lugar de espelhos as suas extremidades são formadas por múltiplas camadas finas de dielétricos.

O filtro permite a passagem de um  $\lambda$  e a reflexão dos demais. Esse comportamento permite seu uso em demultiplexadores, através da formação de redes de TFMF.



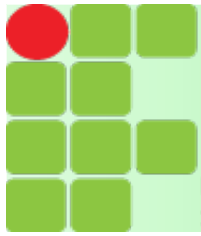
Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network



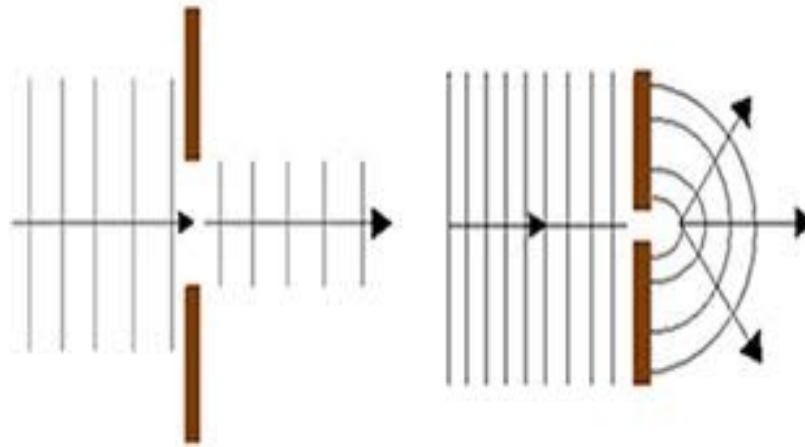
## Comparativo de filtros

Propriedades	Grade de Bragg	TFMF	AWG
Bw de 1dB (nm)	0,3	0,4	0,22
Perda de inserção (dB)	0,2	7	5,5
Perda devido a dependência da polarização (PDL) (dB)	0	0,2	0,5
Coeficiente de temperatura (nm/°C)	0,01	0,0005	0,01

Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network



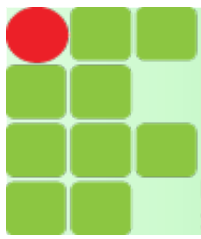
# O que é difração?



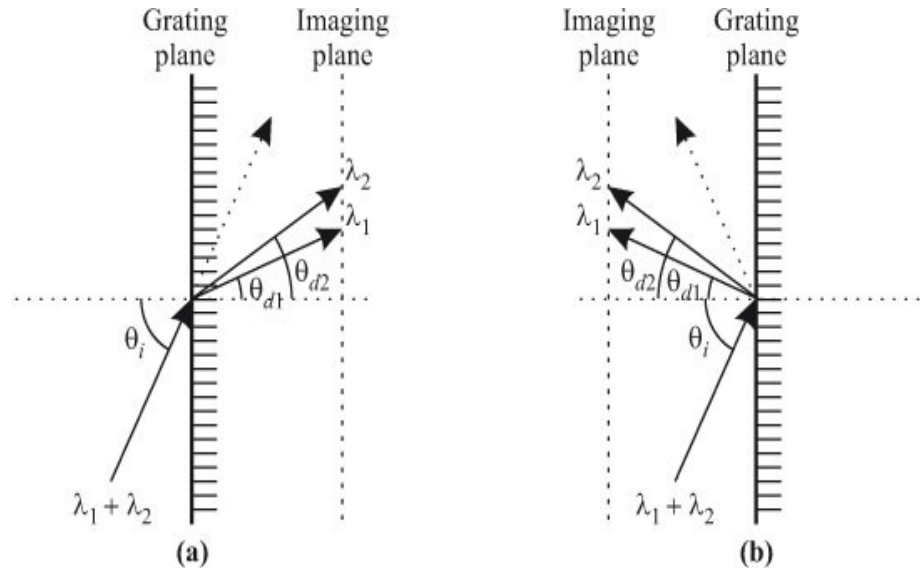
Propriedade da onda de contornar obstáculos.

Fenômeno ondulatório que resulta na dispersão da energia de uma onda quando esta contorna um obstáculo.

Esse fenômeno é mais “forte” quando a abertura por onde a onda irá passar tiver dimensão próxima ao do  $\lambda$  da onda.



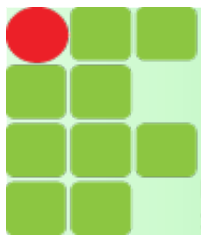
# Grades de difração



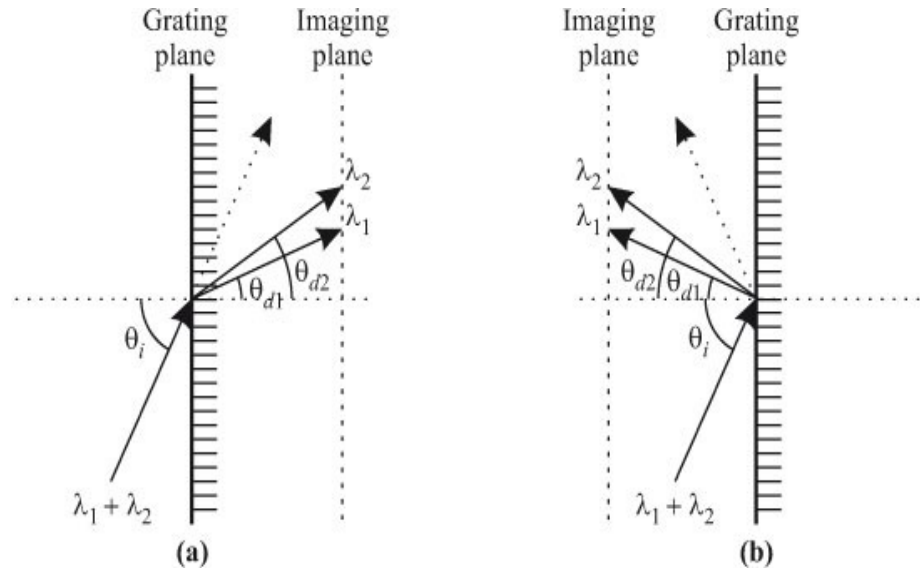
Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network

Uma **Grade de Difração** consiste num conjunto de frestas paralelas, muito finas, feitas com espaçamentos iguais sobre uma superfície lisa, pelas quais a luz pode ser transmitida. Outra forma de construir uma Grade de difração é através de um conjunto de ranhuras paralelas, muito finas, realizadas com espaçamentos iguais sobre uma superfície refletora.

No primeiro caso temos uma grade de difração transmissora e no segundo refletora.



# Grades de difração

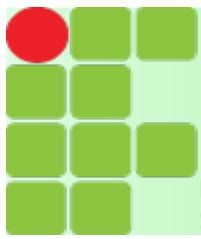


Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network

Uma **Grade de Difração** consiste num conjunto de frestas paralelas, muito finas, feitas com espaçamentos iguais sobre uma superfície lisa, pelas quais a luz pode ser transmitida. Outra forma de construir uma Grade de difração é através de um conjunto de ranhuras paralelas, muito finas, realizadas com espaçamentos iguais sobre uma superfície refletora.

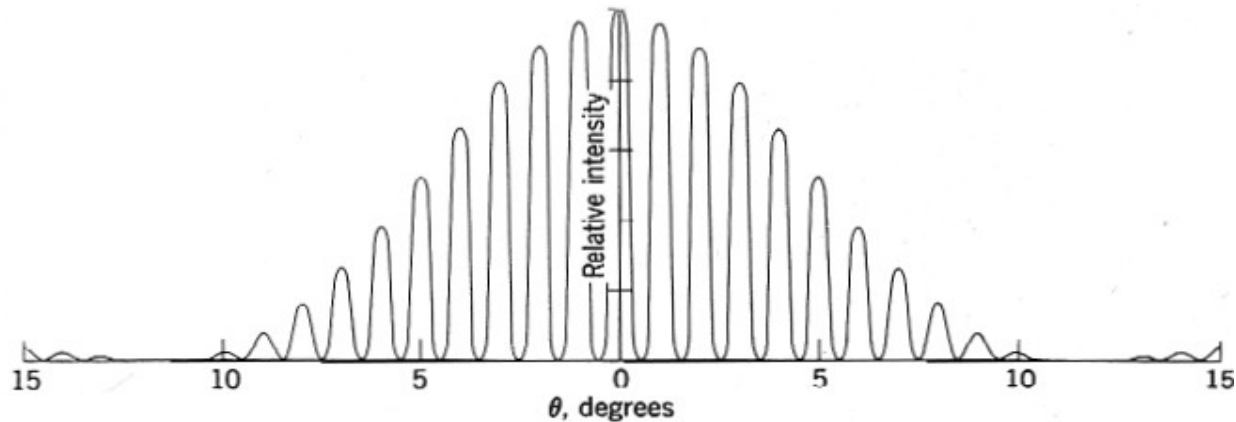
No primeiro caso temos uma grade de difração transmissora e no segundo refletora.





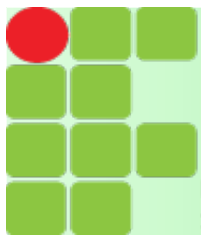
## Grades de difração

A energia luminosa de uma onda que passa/reflete numa grade de difração não é distribuída de forma uniforme em um plano muito distante da grade. No plano existirão pontos de grande intensidade e pontos de intensidade nula.



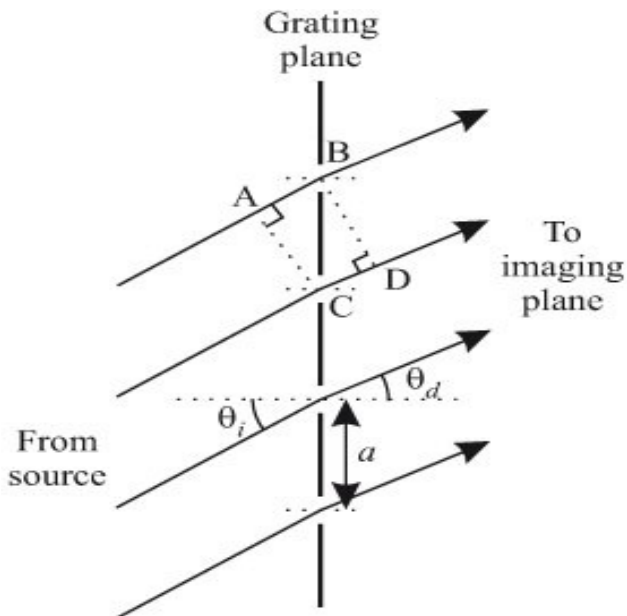
Fonte: [www.physics.umd.edu](http://www.physics.umd.edu)

Cada ponto de intensidade é caracterizado com um número de ordem correspondente ao valor de  $m$  na equação da grade. Para cada  $\lambda$  a posição que os pontos de máxima intensidade incidirão no plano distante será diferente.



## Grades de difração

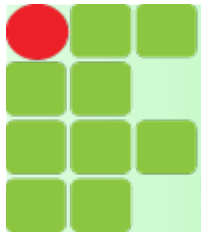
Os pontos de máxima intensidade dependem da relação entre os ângulos de incidência e de refração/reflexão na grade de difração.



$a$  – distância entre duas ranhuras da grade.  
 $\theta_i$  – ângulo de incidência do raio luminoso na grade  
 $\theta_d$  – ângulo de refração do raio luminoso após a passagem pela grade.

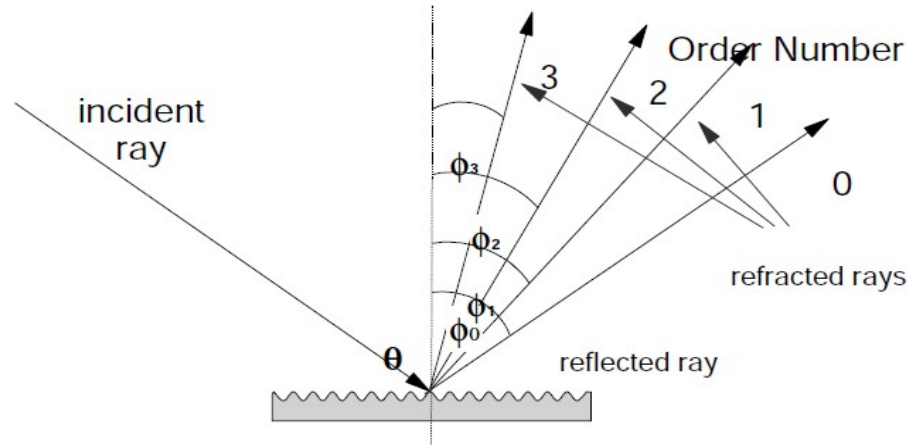
$$a[\text{sen}(\theta_i) - \text{sen}(\theta_d)] = m\lambda$$

Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network

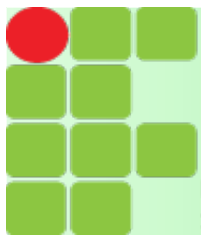


## Grades de difração

A relação entre  $\lambda$  e o espaçamento da grade  $a$  é o que determina o número de ordens  $m$  refratados/refletidos.



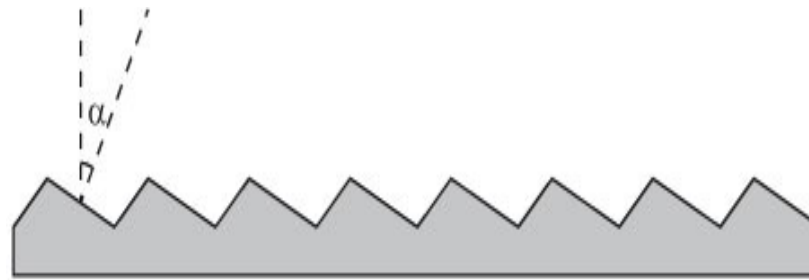
Na ordem **m igual a 0** a posição de incidência do ponto de máxima intensidade de todos os  $\lambda$ s que compõem a onda luminosa, que atravessa/reflete a grade. A posição  $m=0$  é coincidente para todos os  $\lambda$ s. Nas demais ordens as posições são diferentes permitindo a separação dos diversos  $\lambda$ s que compõem a onda luminosa.



## Grades de difração

As grades de difração são utilizadas em comunicações ópticas como demultiplexadores e multiplexadores, portanto a ordem 0 não é empregada.

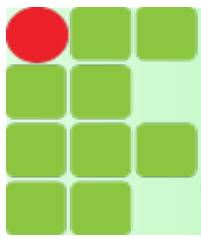
Porém na grade “normal” é a **ordem 0** que recebe a **maior intensidade da energia** luminosa.



Fonte: <http://booksite.mkp.com/> - Optical Network

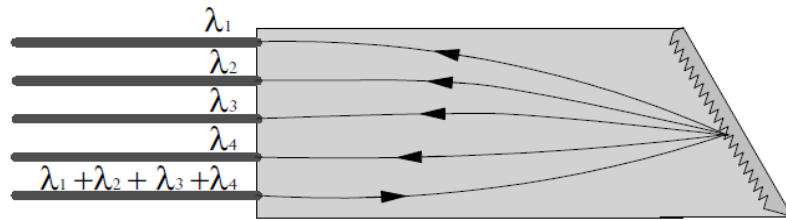
Padrões diferentes de grade permitem alterar a distribuição da intensidade luminosa. Nas comunicações ópticas são empregadas grades de difração Blazed.

Nestas grades conforme o ângulo  $\alpha$ , formado pela normal a superfície da grade e a posição vertical, a ordem que recebe maior intensidade luminosa é alterada.



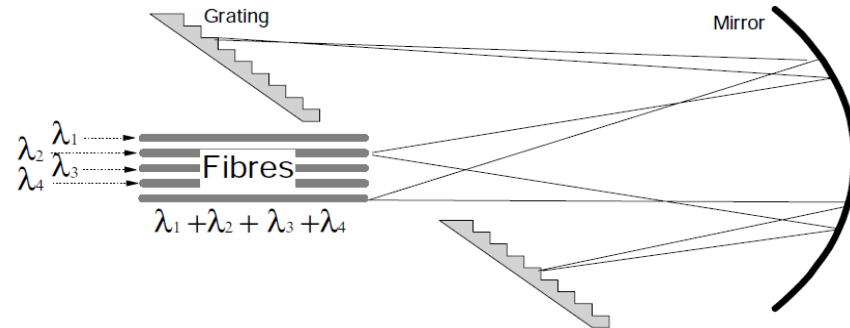
# Grades de difração

Exemplos de estruturas de multiplexadores/demultiplexadores baseados em grades de difração.



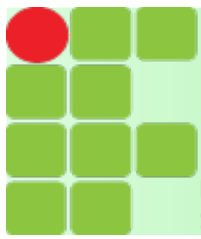
WDM com lente GRIN (índice de refração gradual) e grade de Littrow

Fonte: [www.redbooks.ibm.com](http://www.redbooks.ibm.com)



WDM com espelho concavo e grade de Littrow

Fonte: [www.redbooks.ibm.com](http://www.redbooks.ibm.com)

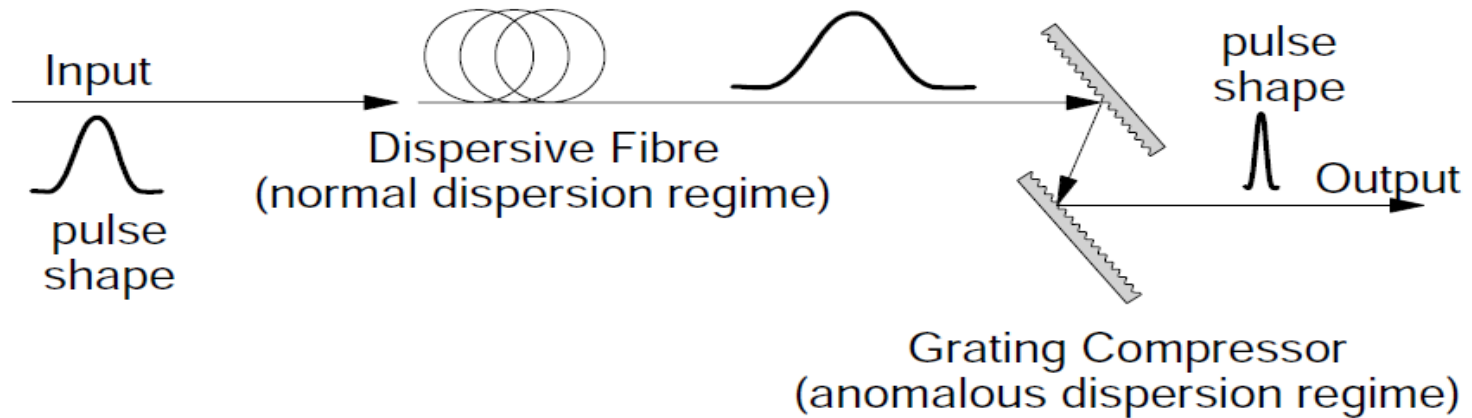


# Grades de difração

Compensador de dispersão com duas grades de difração paralelas.

Os diferentes percursos dos  $\lambda$ s, entre as duas grades de dispersão permitem a compensação da dispersão do pulso luminoso.

Os  $\lambda$ s menores são atrasados e os maiores são acelerados.



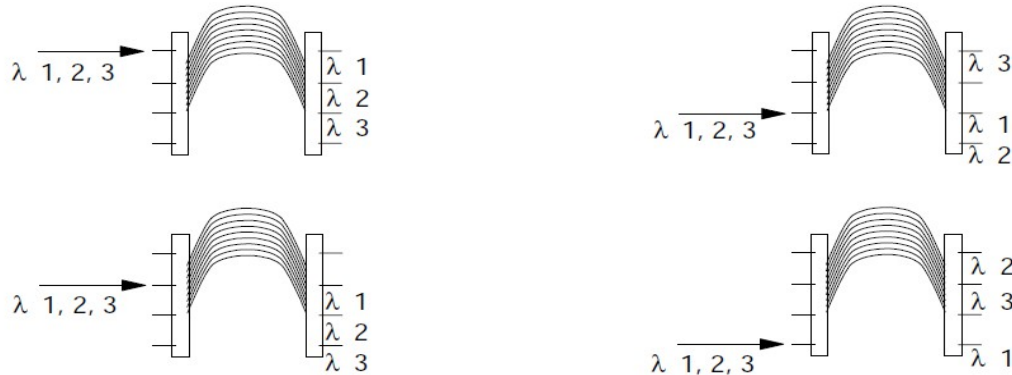
Fonte: [www.redbooks.ibm.com](http://www.redbooks.ibm.com)

# WGR – Roteadores baseados em Grade de guias de Onda

## AWG – Arrayed Waveguide Grating

INSTITUTO FEDERAL  
SANTA CATARINA

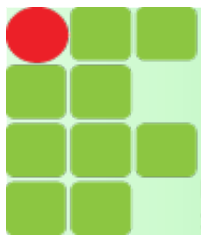
**WGR** são **multiplexadores/demultiplexadores** construídos a partir de uma grade de guias de onda. Geralmente são componentes com N entradas e N saídas. Dependendo da porta de entrada utilizada os  $\lambda$ s que compõem o sinal surgem em diferentes portas de saída.



Fonte: [www.redbooks.ibm.com](http://www.redbooks.ibm.com)

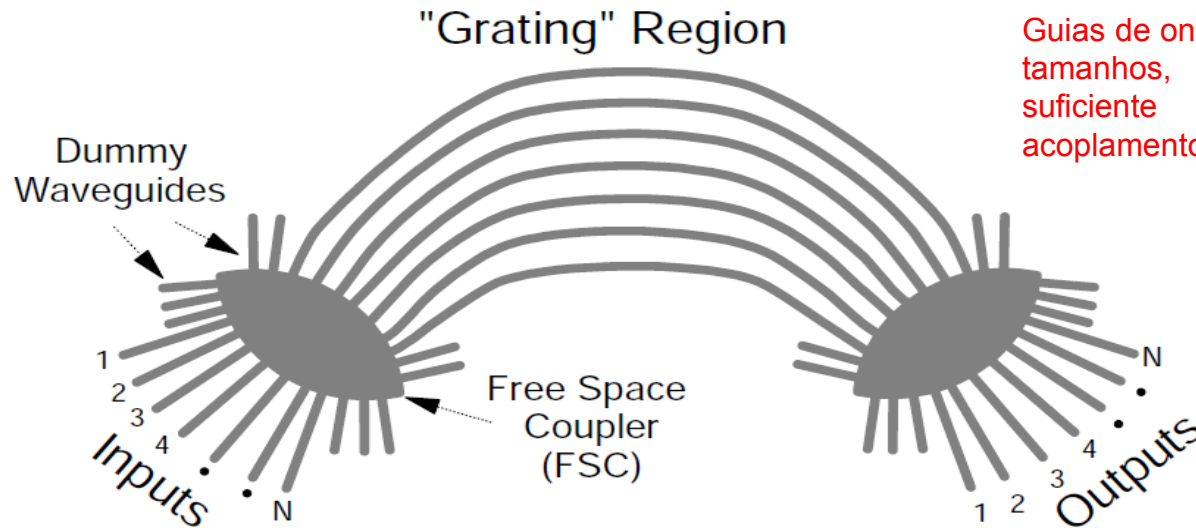
Se dispostos adequadamente os sinais com  $\lambda$ s diferentes nas portas de entrada, é possível multiplexá-los em uma única porta de saída

**AWG são bidirecionais**



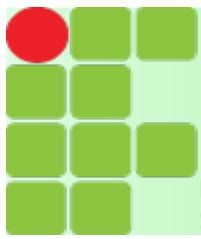
## WGR – AWG

Cada guia de onda tem um comprimento diferente, portanto sinais luminosos com o mesmo  $\lambda$  propagando-se em diferentes guias chegaram defasados na segunda região de acoplamento. Os guias de onda interligam duas regiões de acoplamento.

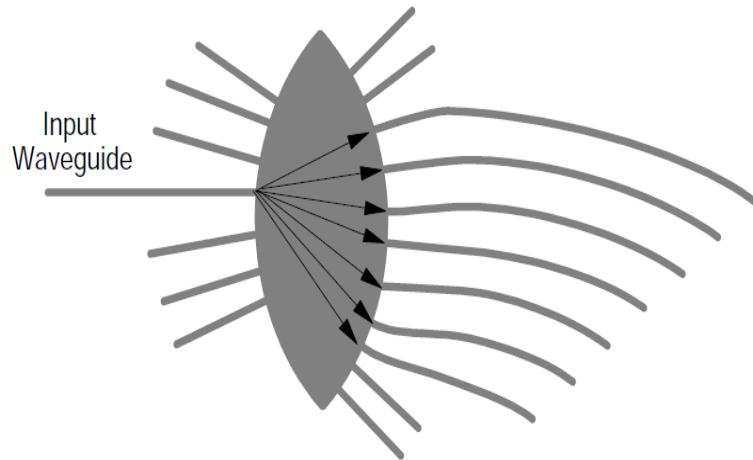


Guias de ondas, de diferentes tamanhos, afastados o suficiente para evitar o acoplamento dos campos





O sinal que entra na primeira região de acoplamento será distribuído nos diferentes guias de onda. A junção fibra-região de acoplamento resulta num efeito similar a grade de difração.



As parcelas do sinal que saem dos guia de onda para a segunda região de acoplamento, atravessam a região e produzem interferência de forma construtiva ou destrutiva nas N portas de saída. Na saída correspondente a interferência construtiva o  $\lambda$  será acoplado à fibra, nas demais saídas o sinal sofrerá forte atenuação.

