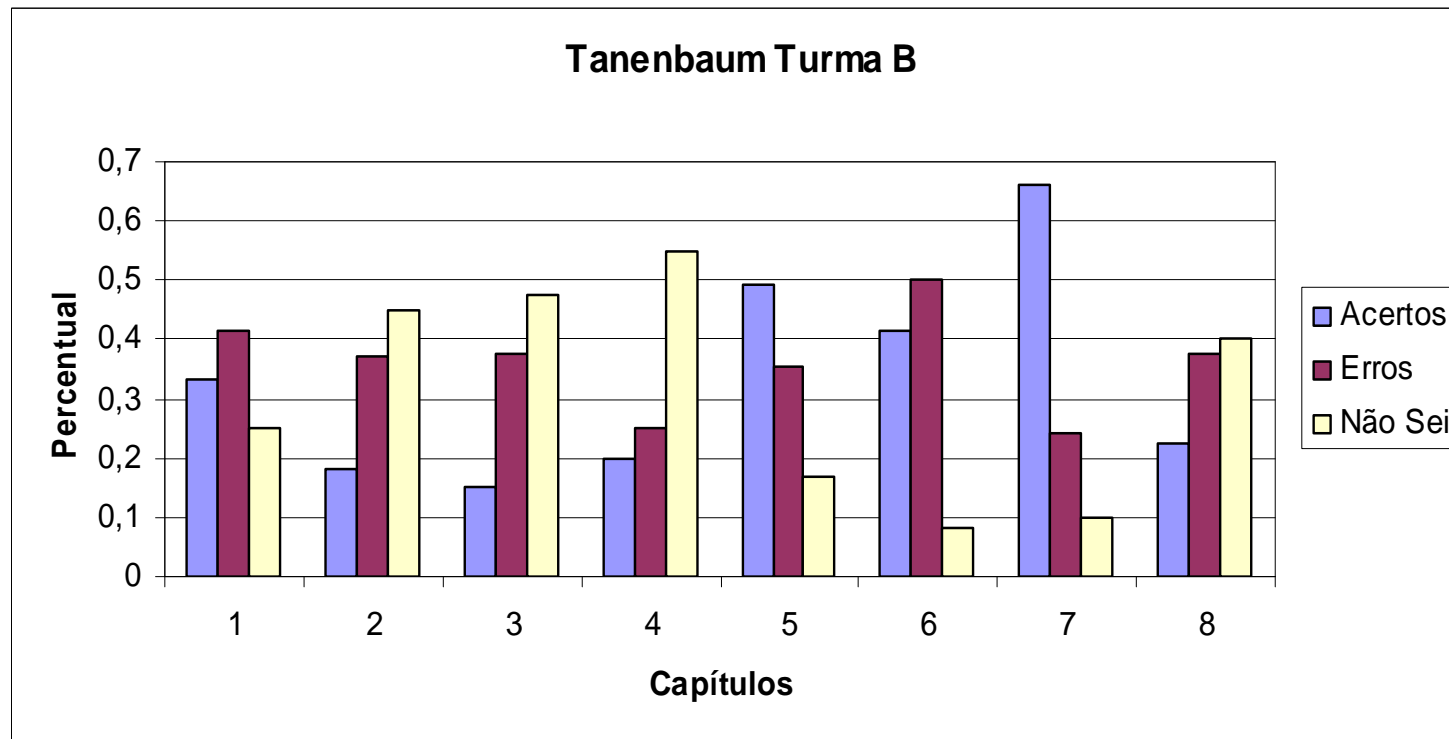


# Na aula passada...

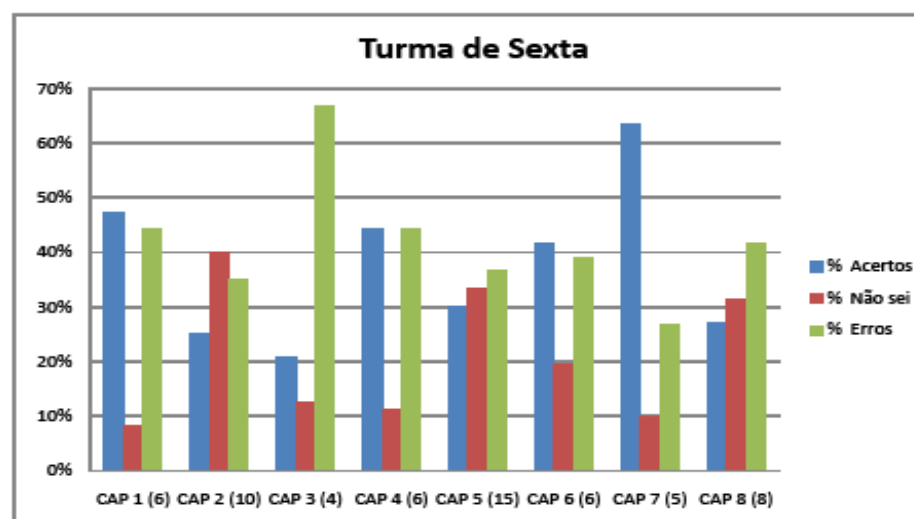
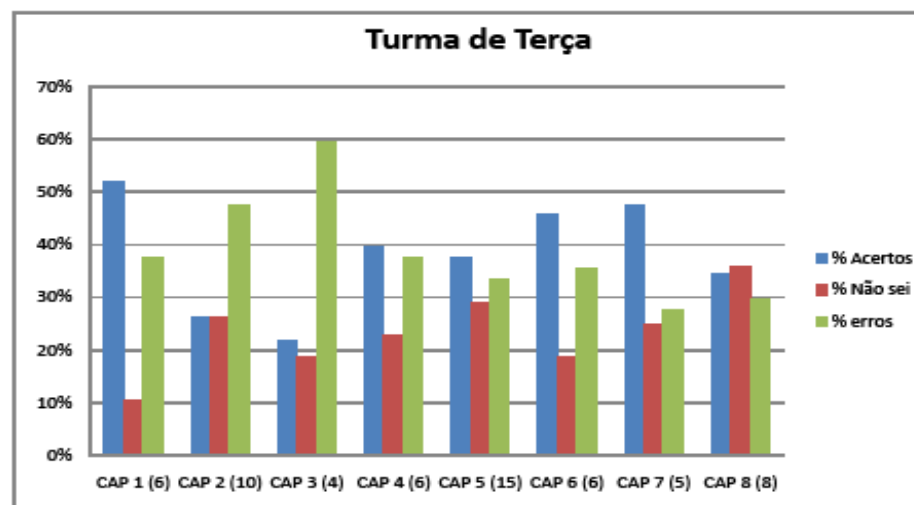
- ... proposta do curso e detalhamento da avaliação
- ... conceitualização de Desempenho em Redes
- ... breve teste de conhecimento em Redes  
(para esquentar os motores)

# Resultado do Teste



Resultados do ano passado

## Relatório RAD – Visita ao Tanenbaum



---nesta aula---

# Meio físico: o caso das Fibras óticas, caracterização, medidas de desempenho

# Glossário

- Modos de Propagação:
  - Multimodo
  - Monomodo
- Perdas
  - Dispersão
  - Atenuação
  - Espalhamento
  - Não Linearidade

# Fibras óticas e suas aplicações

- FTTH & PONs
- Redes híbridas
- Projeto Kyatera & Giga
- Tendências

# Conceitos básicos

– **velocidade de propagação depende do índice de refração**

- $n=1,46$        $\rightarrow$        $v=2.1 \times 10^8 \text{ m/s}$

» ou,

- 0.69 da velocidade da luz no vácuo



# Conceitos básicos

## – VANTAGENS

- maior largura de banda
- volume e peso menor que cobre
- imunidade eletromagnética
- melhor relação atenuação/distância => menos repetidores
- -> maior confiabilidade

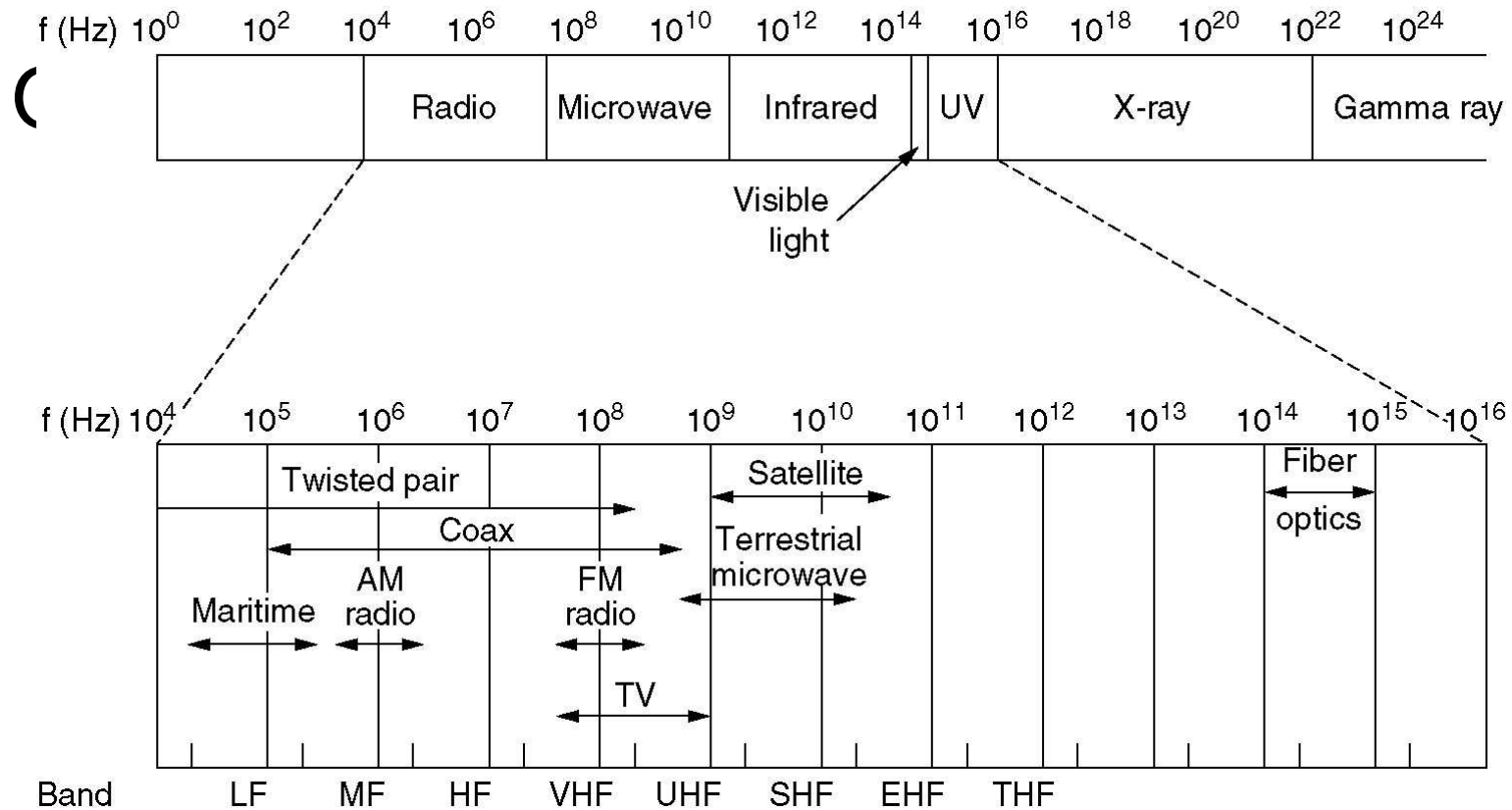
## – DESVANTAGENS

- incompatibilidade com o hardware dos sistemas eletrônicos: gargalo nos pontos de conversão (conversão eletro-óptica)

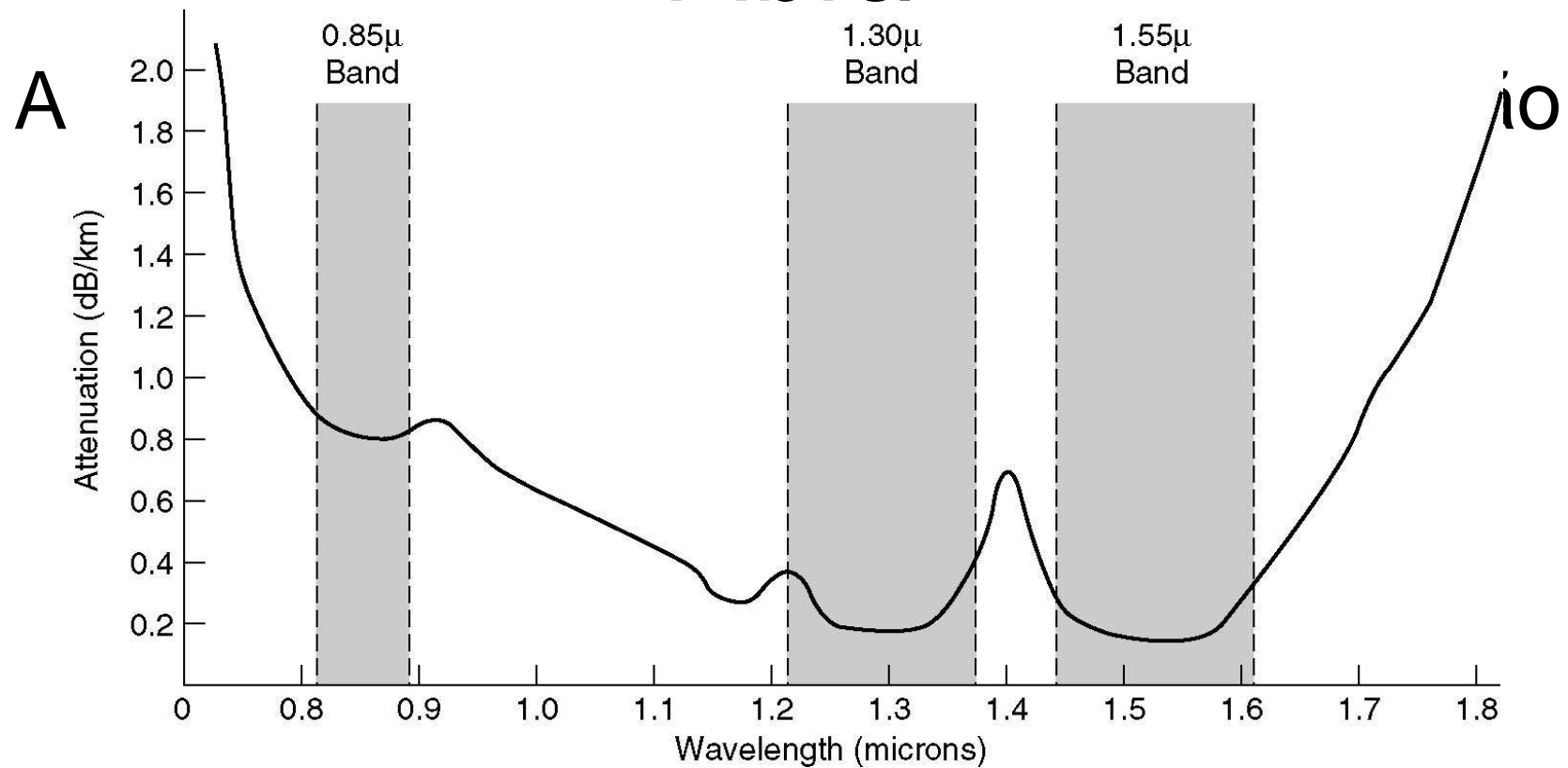
# Provinha 4

Uma fibra monomodo apresenta perdas de 1.5 dB/km. Supondo que a linha tenha 150 km (entre SCarlos e Campinas) e o sinal de saída tenha intensidade 1000, quantos amplificadores de 10 dB seriam necessários (e distribuídos de que maneira) para ter um sinal de intensidade 50 no destino?

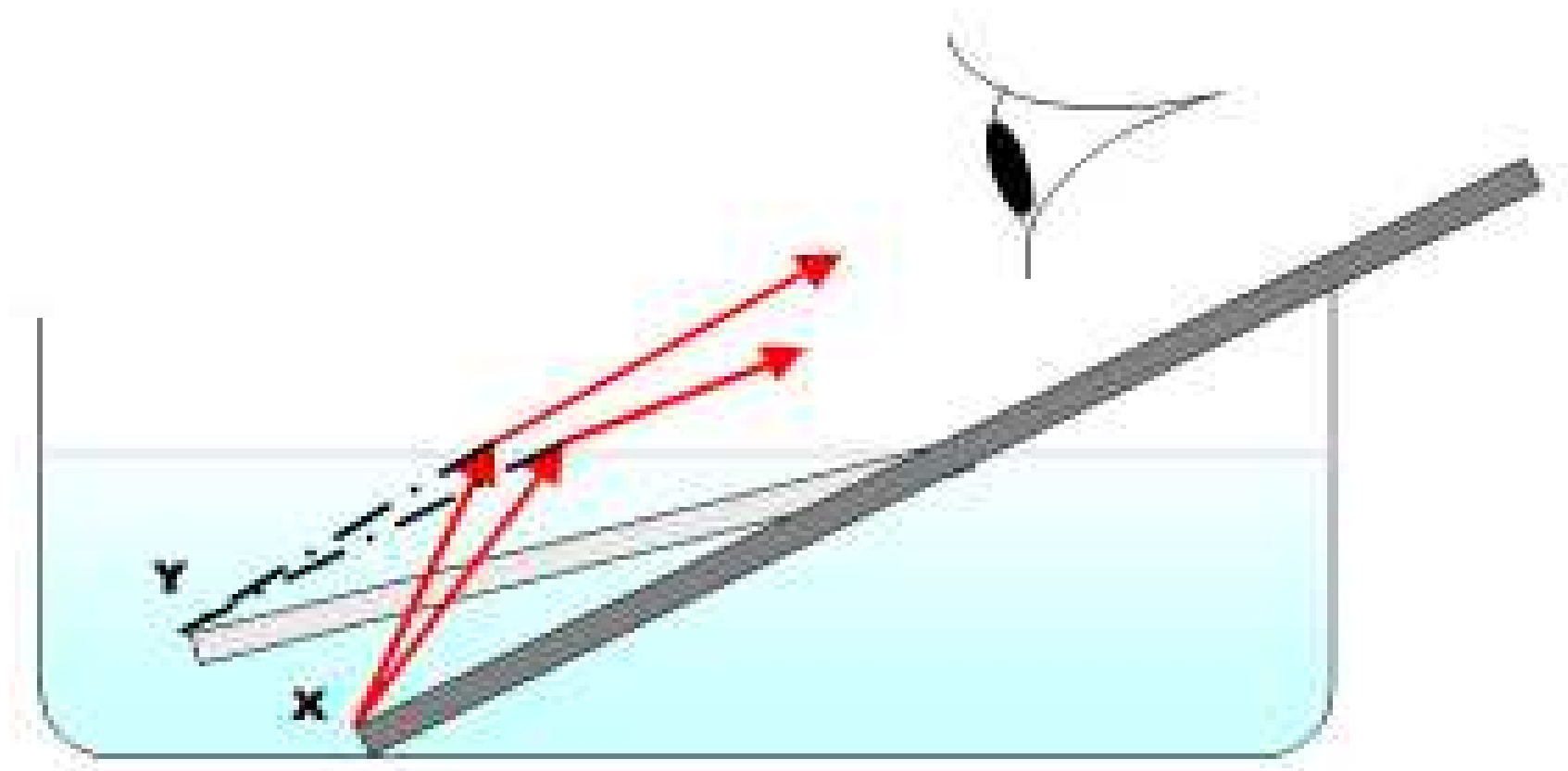
# O Espectro Eletromagnético



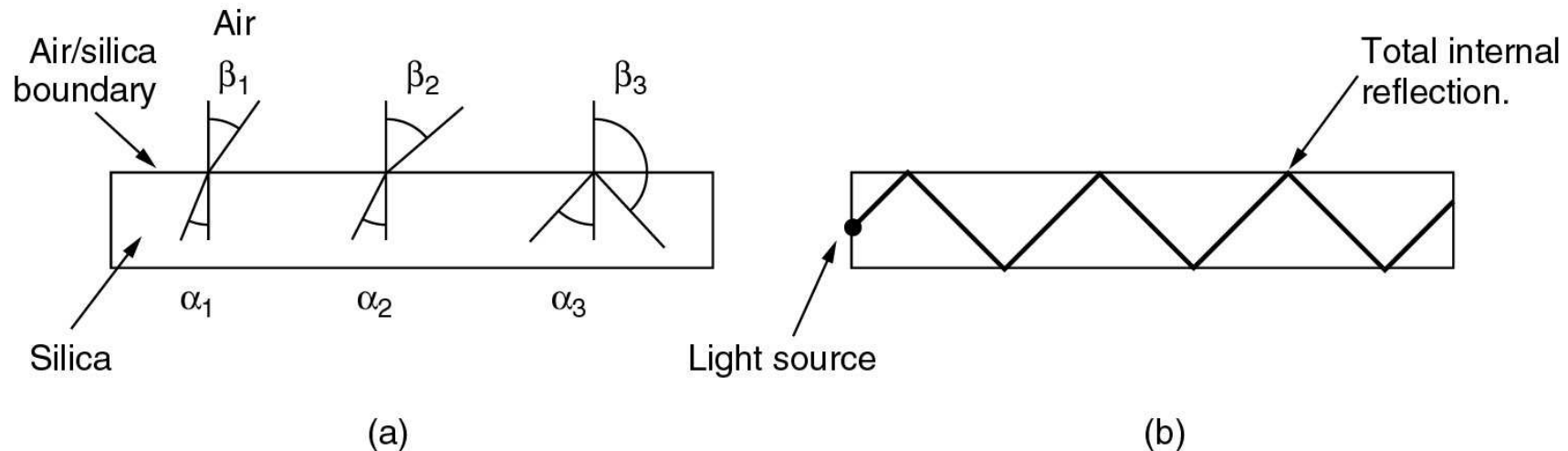
# Transmissão de Luz através de Fibra



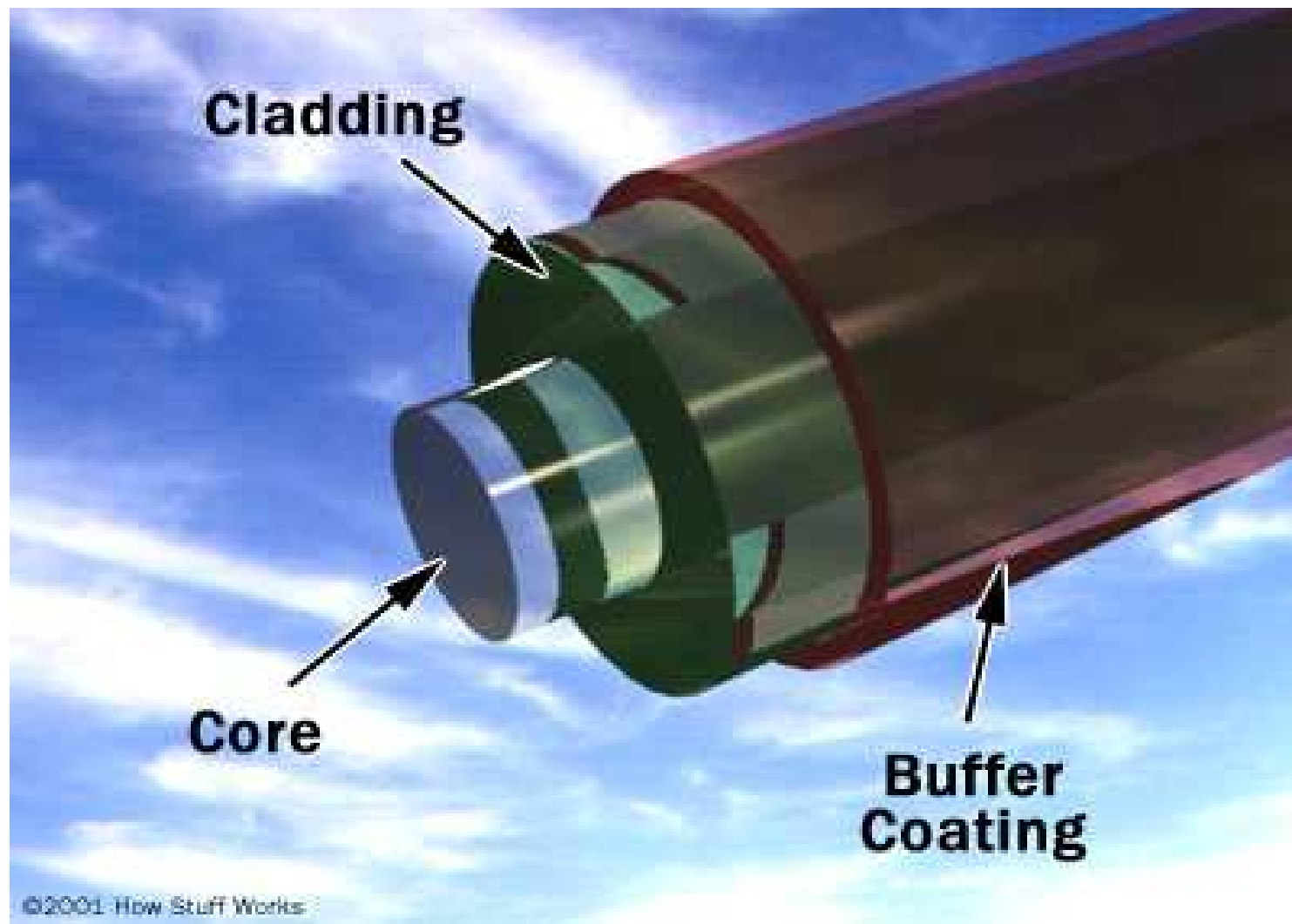
# Refração



# Fibra Ótica



- (a) Três exemplos de um feixe de luz dentro de uma fibra de sílica colidindo com a fronteira ar/sílica em diferentes ângulos.
- (b) A luz interceptada pela reflexão interna total.



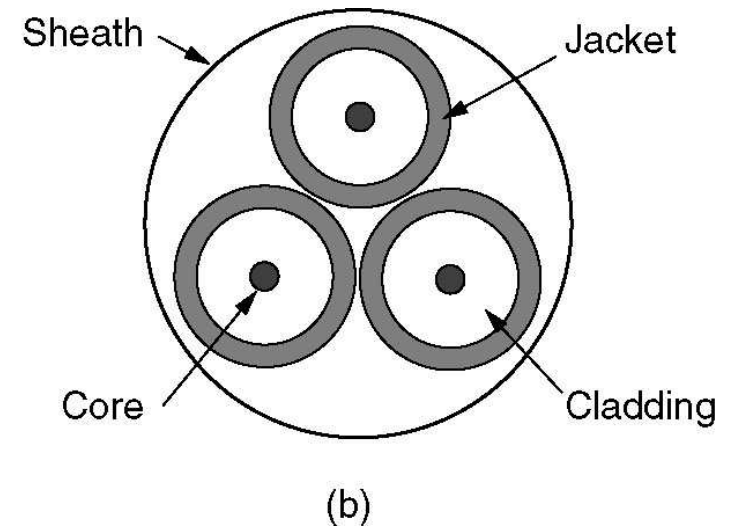
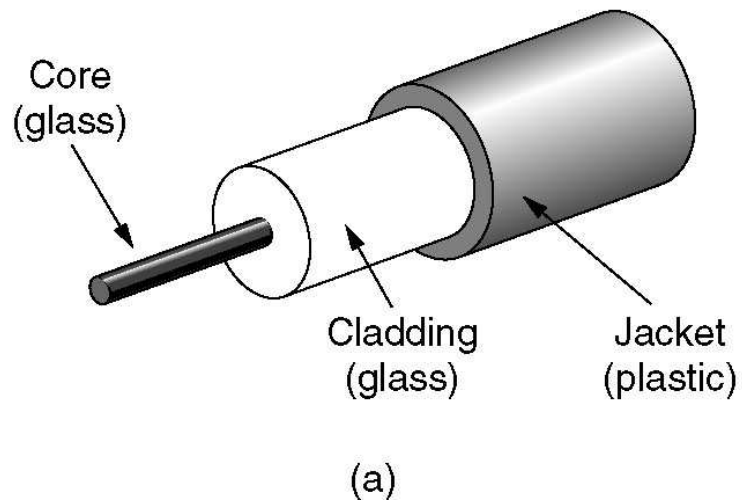
# Glossário

- PMD – Dispersão de modo de polarização
- Core – núcleo
- Cladding – revestimento
- Coating – Capa
- Índice de refração
- Janelas espectrais de uso



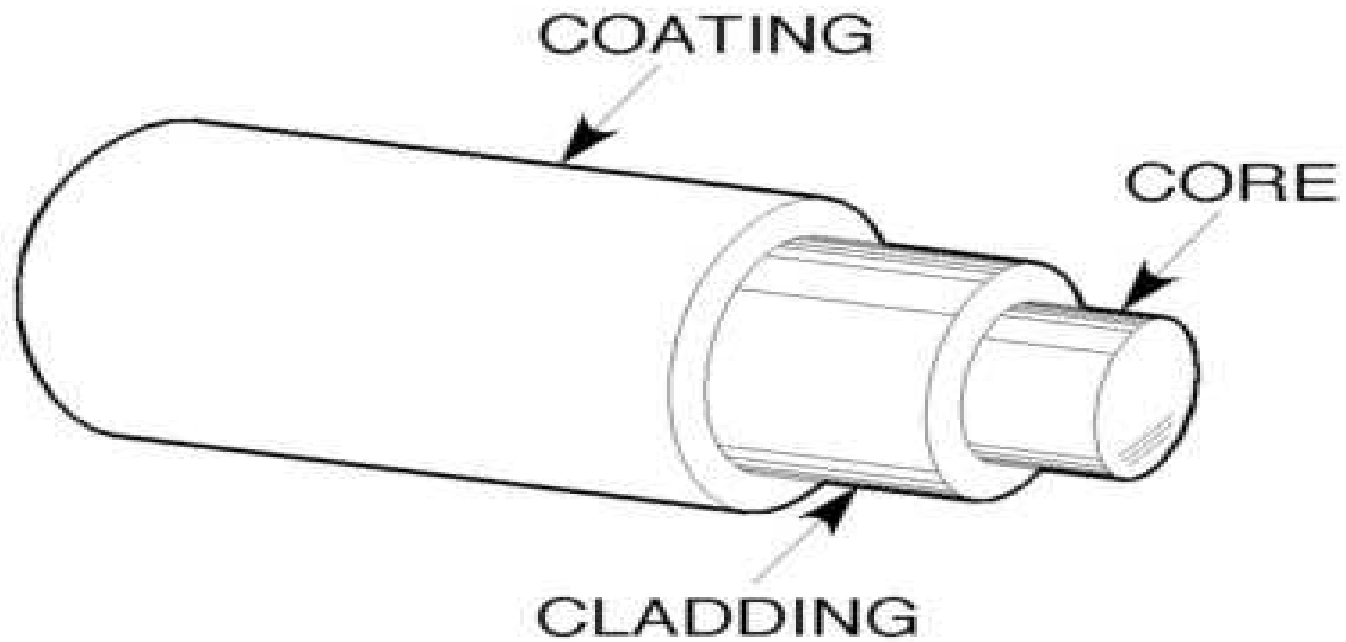
# Cabos de Fibra

(a) Perspectiva lateral de uma fibra.

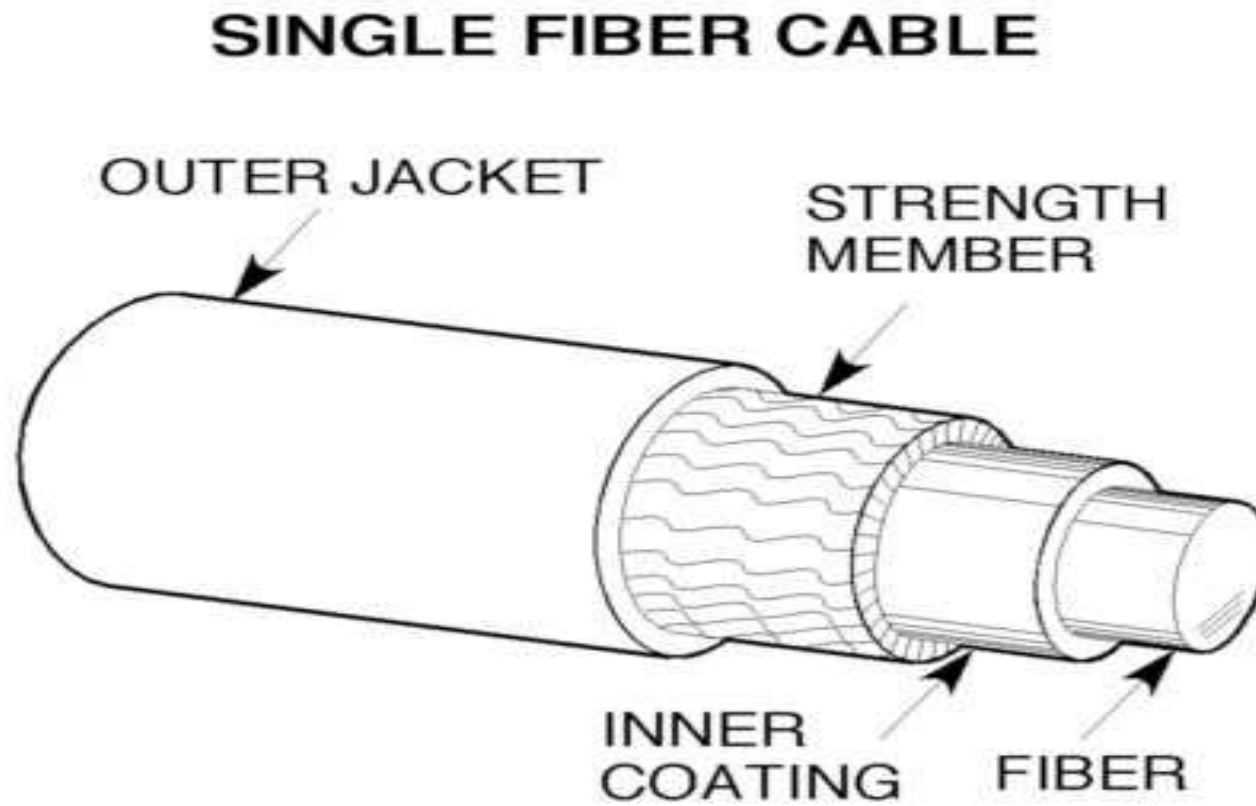


# Estrutura física

## OPTICAL FIBER

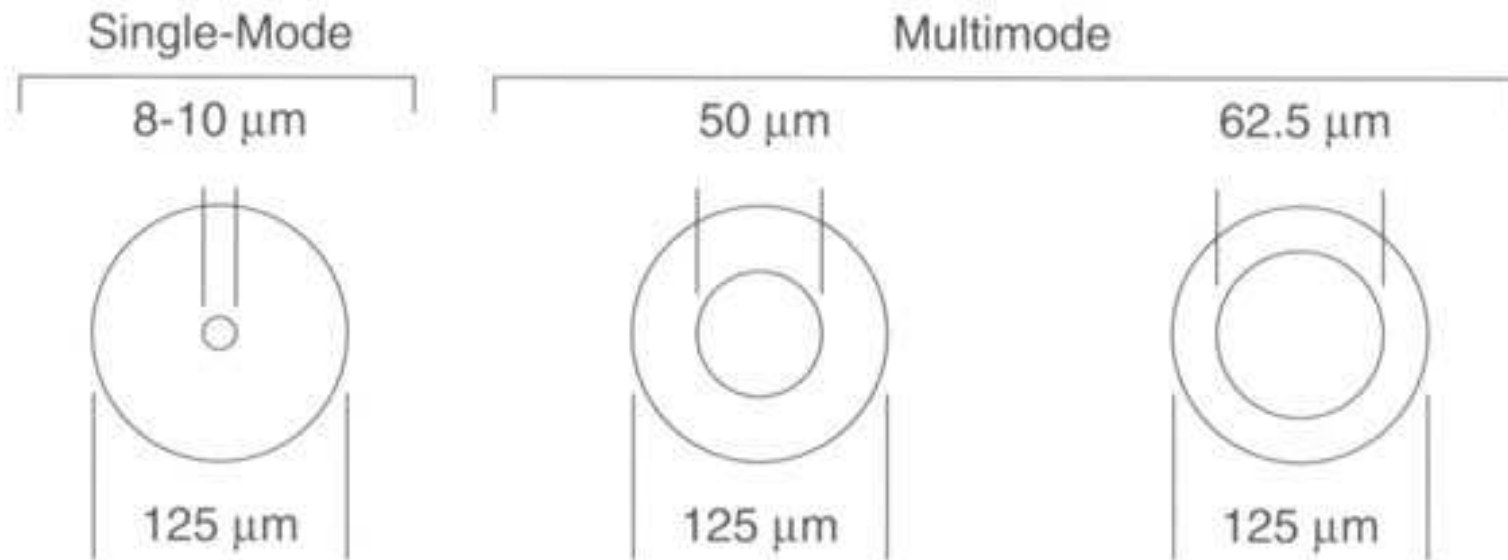


# Estrutura física



# Monomodo X Multimodo

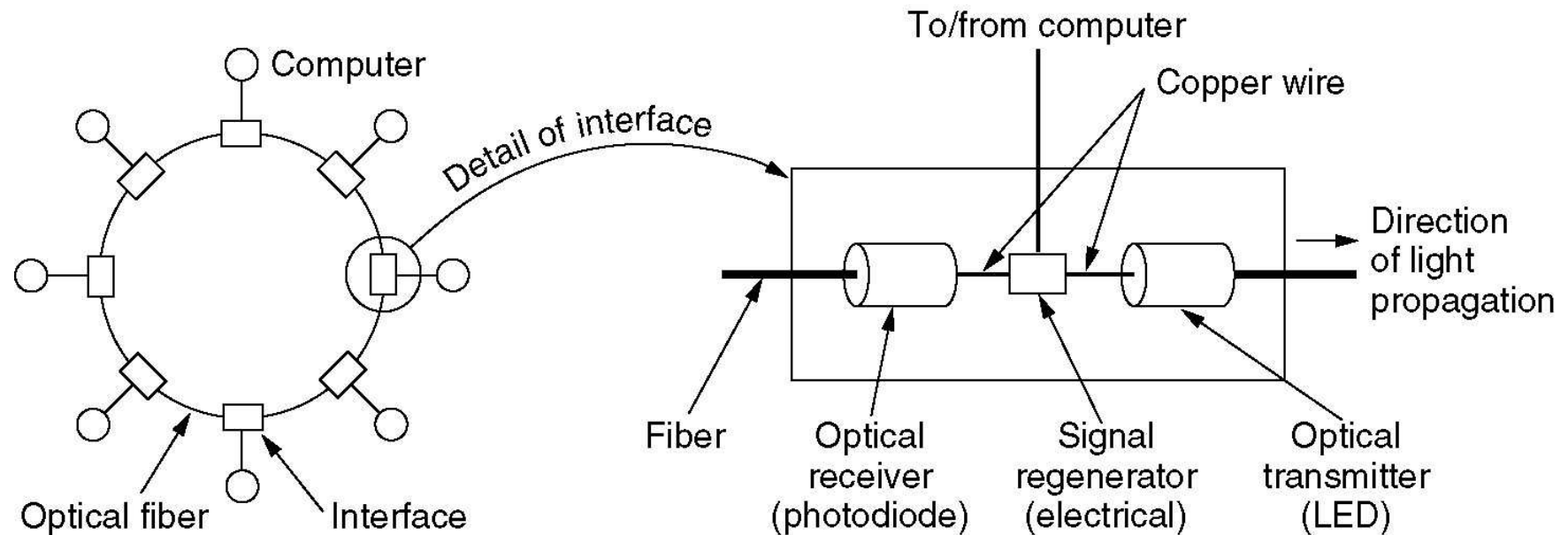
- 



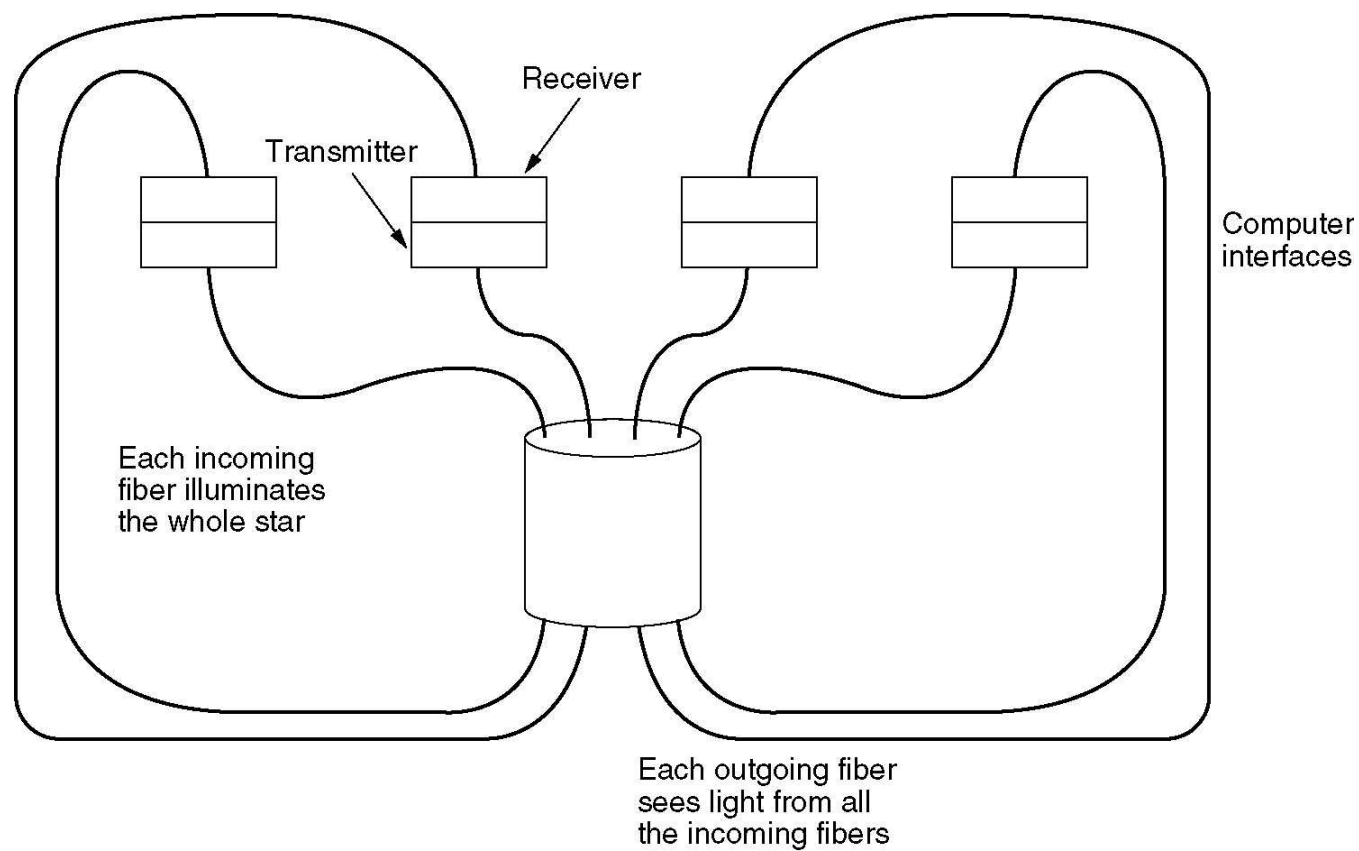
## Uma comparação entre diodos semicondutores e emissores de luz utilizados como fontes de luz.

Item	LED	Semiconductor laser
Data rate	Low	High
Fiber type	Multimode	Multimode or single mode
Distance	Short	Long
Lifetime	Long life	Short life
Temperature sensitivity	Minor	Substantial
Cost	Low cost	Expensive

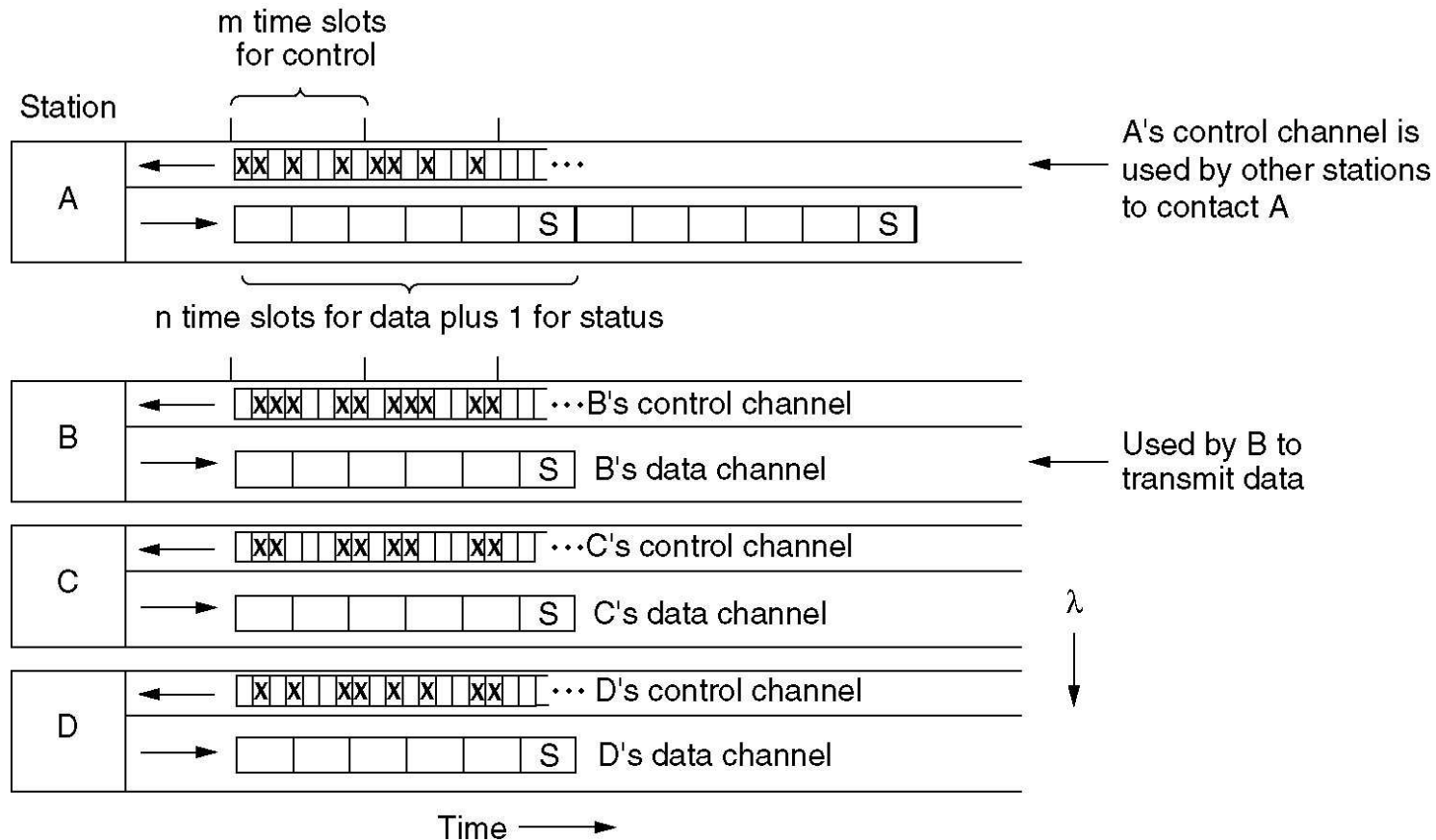
# Um anel de fibra ótica com repetidores ativos.



# Uma conexão em estrela passiva em uma rede de fibra ótica.



# Protocolos WDMA (Seção 4.2.5- Tanenbaum)



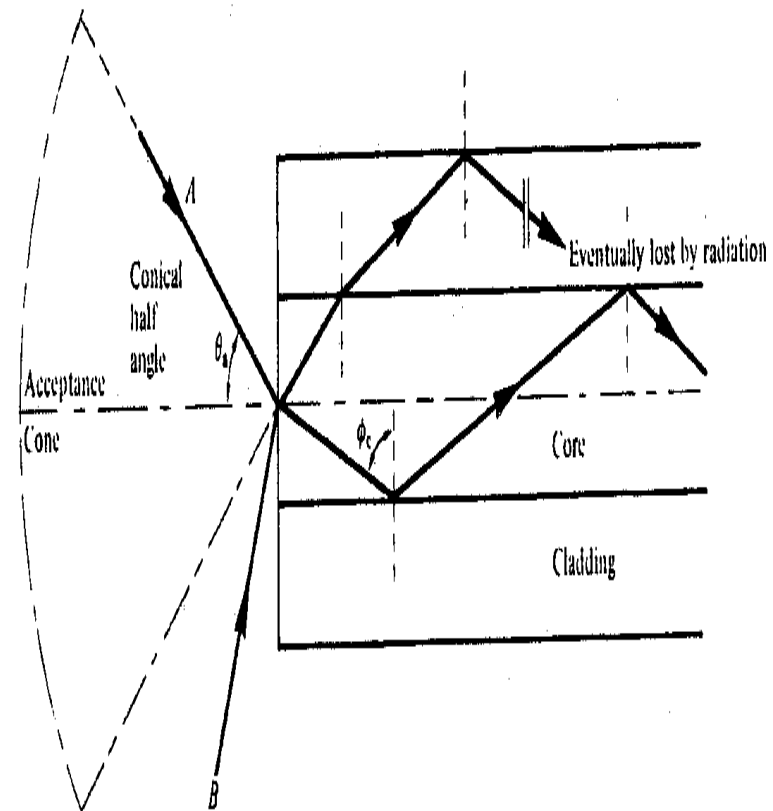
Cada estação tem 2 transmissores e 2 receptores

- Um receptor de frequência fixa para ouvir seu canal de controle
- Um transmissor sintonizável para enviar controles para outros canais
- Um transmissor fixo para transmitir seus dados
- Um receptor sintonizável para selecionar o canal de um transmissor



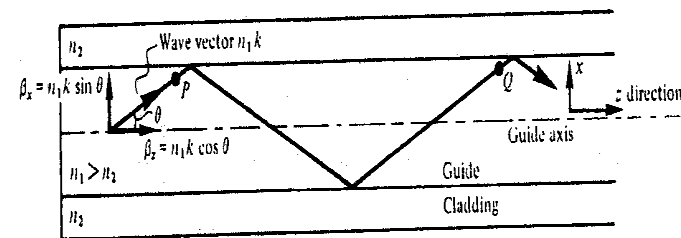
# Princípios de propagação

- Núcleo (core) e Casca (cladding) com índices de refração próximos
- ângulo de aceitação cônico

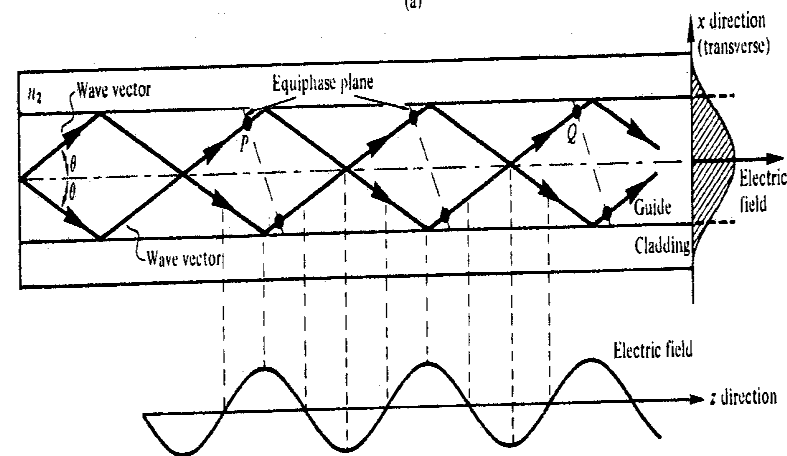


# Propagação em fibra plana: ex.

- Energia confinada no núcleo:fibra=guia de onda
- Modo de propagação: um para cada  $\theta$



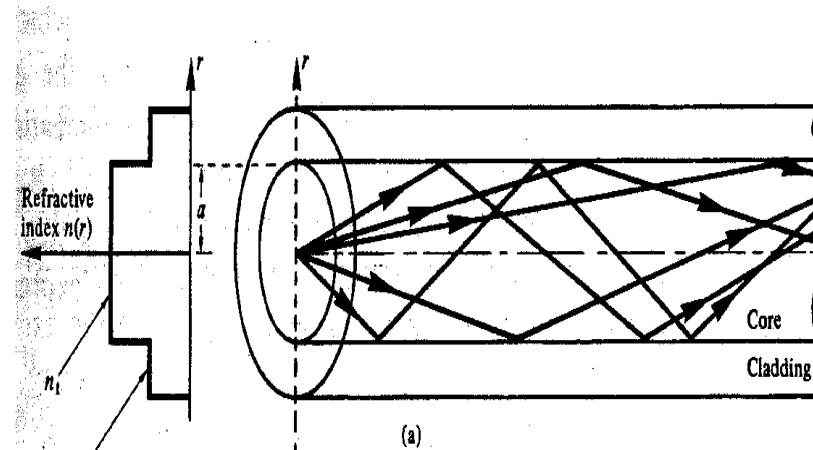
(a)



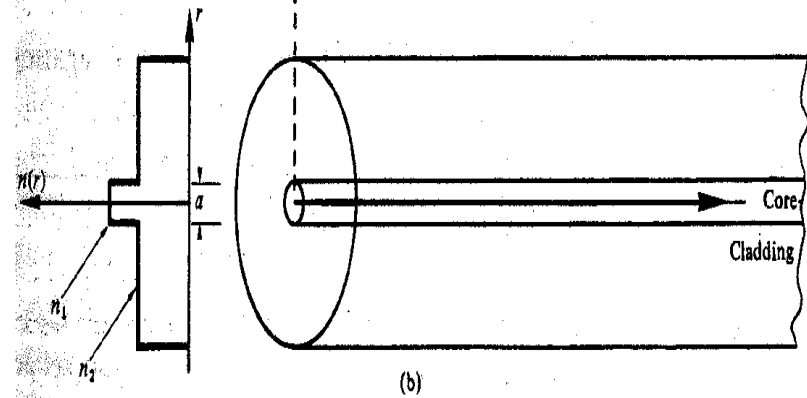
(b)

# Multimodo x monomodo

- Fibra multimodo



- Fibra monomodo



# Fatores limitantes em fibras

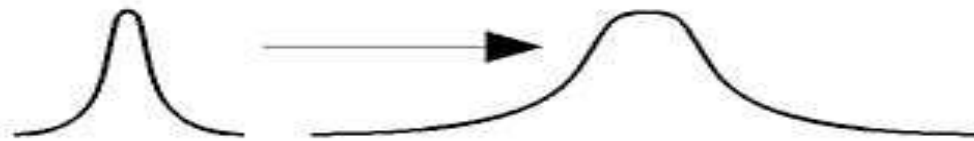
1. Dispersão
2. Perdas
  - atenuação
  - Espalhamentos

Também...

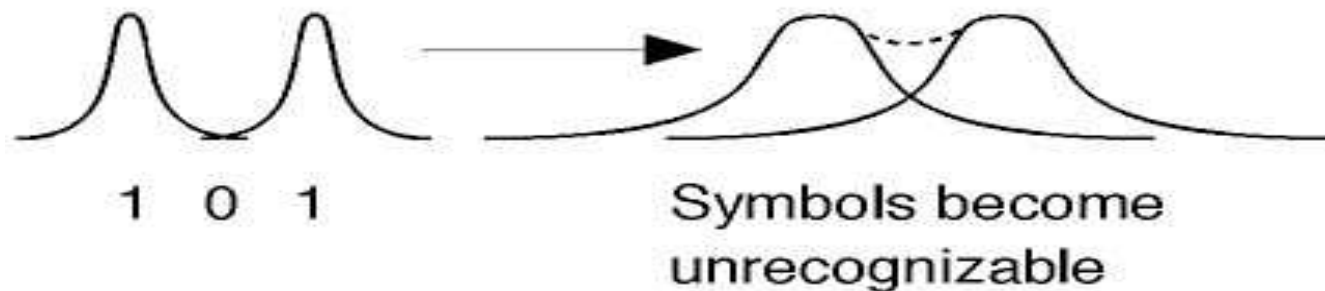
- Limite na **banda** de passagem disponível
- Limite no **comprimento máximo** de fibra

# Dispersão - conceito

## Dispersion



As a pulse travels down a fiber, dispersion causes pulse spreading. This limits the distance and the bit rate of data on an optical fiber.



Veja mais: <http://sol.sci.uop.edu/~jfalward/lightinterference/lightinterference.html>

# Dispersão - classificação

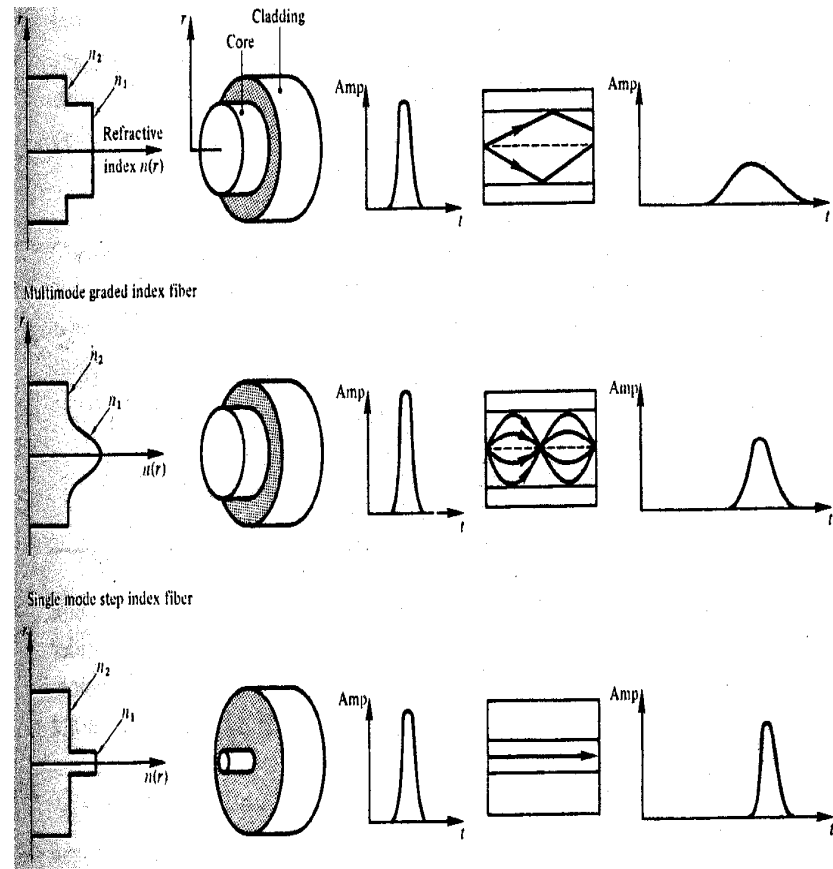
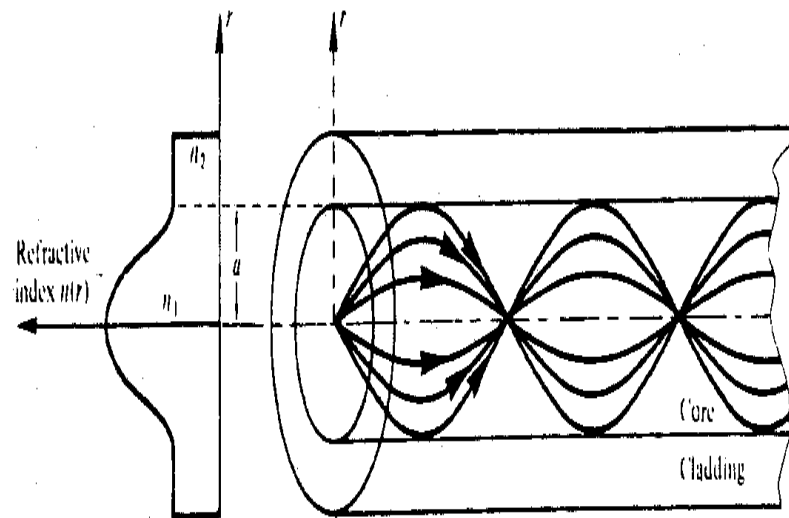
- Dispersão intermodal
  - predominante em fibras multimodo
  - nas monomodo pode aparecer dependendo:
    - da pureza do laser
    - Da ocorrência de não linearidades (ex: FWM)
- Dispersão intramodal
  - a mais importante em fibras monomodo

# Dispersão intermodal

- Dispersão cromática
  - $\eta$  varia com  $\lambda$
  - interferência entre modos de propagação
- Dispersão de guia de onda
  - propagação pelo núcleo e casca

# Correção de Dispersão Intermodal

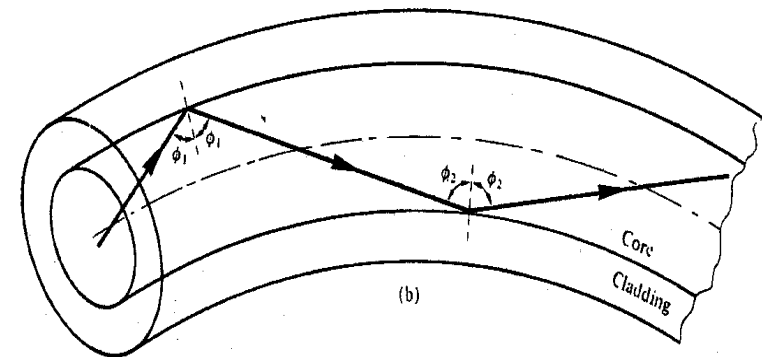
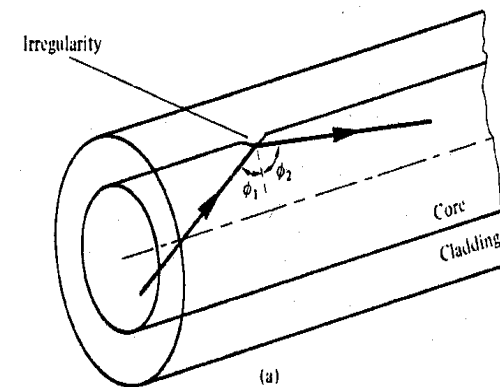
- Perfil de índices de  $n$  com variação gradual





# Dispersão Intramodal

- variação de  $\eta$  ao longo da fibra
  - defeitos
  - curvaturas
  - assimetrias
  - tensões residuais
  - $\eta$  dependente da polarização da luz (PMD: polarization mode dispersion)



# Dispersão Intramodal: PMD

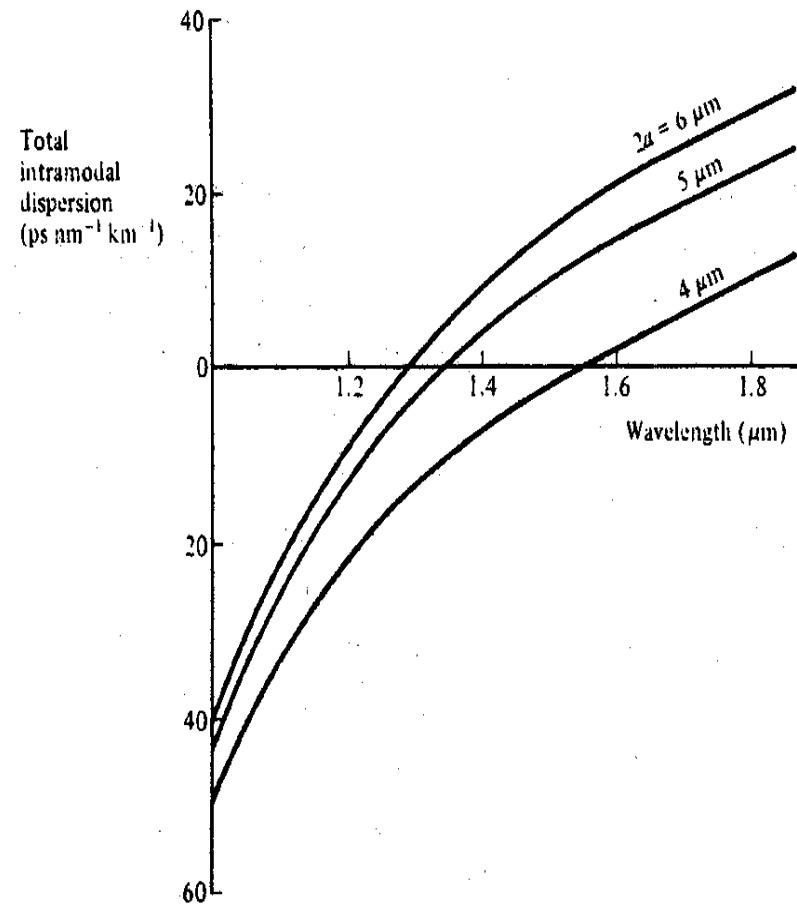
- **Velocidades diferente para cada polarização da onda**
  - A diferença de tempo de propagação entre os modos de polarização chama-se retardo de grupo diferencial (DRG) e mede a PMD
- **Causas**
  - Formato elíptico do núcleo
  - Assimetrias da fibra
  - tensões residuais: curvatura e torção
- **Varia com a temperatura e tempo**
- **Efeitos acima de 10 Gbps**
- **Incremento em 4x na taxa de transmissão → redução de 10x na distância**

# PMD: exemplo

Diferença de tempo	2,5 Gbps	10 Gbps	40 Gbps
ps/Km			
0,0075	285000 km	18000 km	1100 Km
0,5	6400 Km	400 Km	25 Km
1	1600 Km	100 Km	6 km
5	64 km	4 Km	

# Dispersão Intramodal

- Posição da curva que depende de:
  - diâmetro do núcleo (área efetiva)
  - composição da fibra
    - dopagem da fibra



# Fabricação - vídeo

- Preforma
  - deposição de vapor de compostos voláteis de ( $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{GeCl}_4$ ,  $\text{SiF}_4$ ) + dopantes
  - cozimento
- Puxamento
- Bobinamento

## Entendendo valores de dB

A escala decibel (dB) é logarítmica, usada para denotar a taxa de um valor de potência para outro, por exemplo:

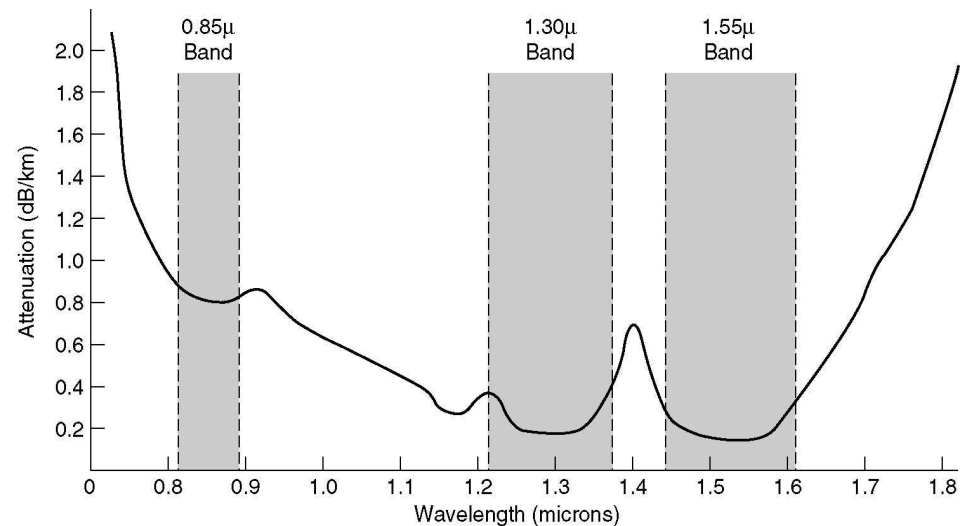
$$\text{dB} = 10 \log_{10} (\text{Power A/Power B})$$

Um aumento de 3 dB indica um dobro de potência. Um aumento de 6 dB indica uma quadruplicação na potência. Alguns exemplos são mostrados na Tabela 1.

Ganho	Número de vezes	Perda	Número de vezes
0 dB	1x (o mesmo)	0 dB	1x (o mesmo)
1 dB	1.25x	-1 dB	0.8x
3 dB	2x	-3 dB	0.5x
6 dB	4x	-6 dB	0.25x
10 dB	10x	-10 dB	0.10x
12 dB	16x	-12 dB	0.06x
20 dB	100x	-20 dB	0.01x
30 dB	1000x	-30 dB	0.001x
40 dB	10.000x	-40 dB	0.0001x

# Perdas - atenuação

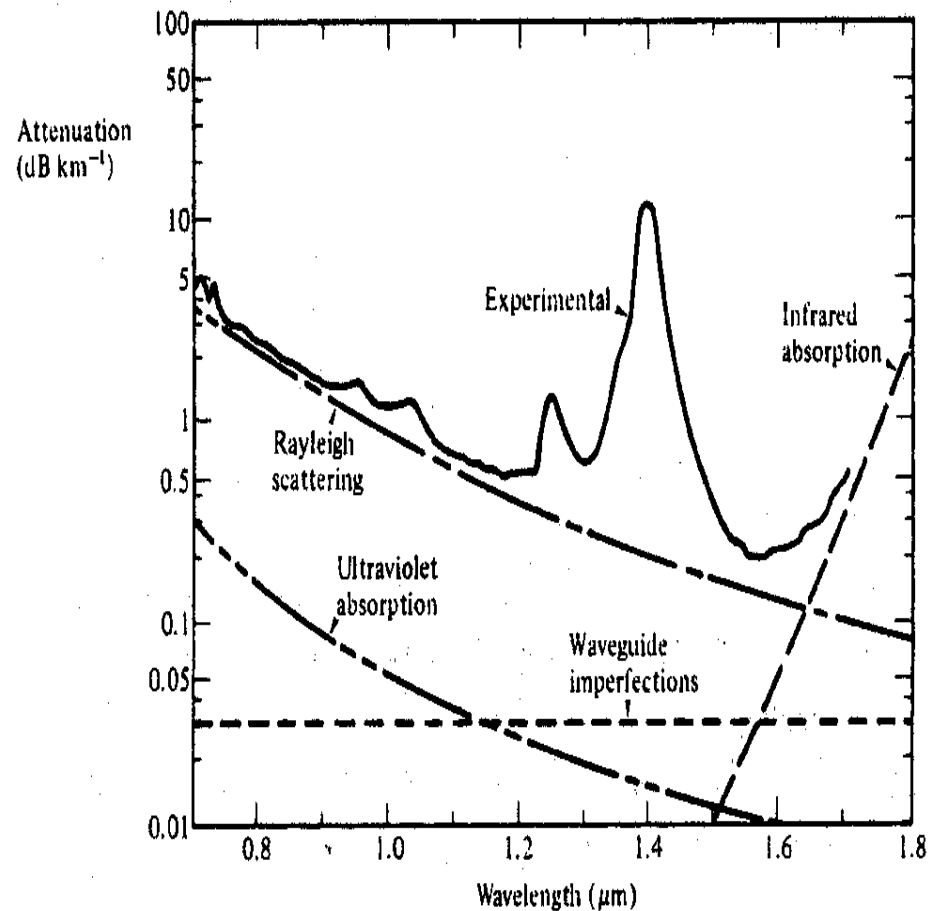
- Absorção
  - impurezas na fibra
  - água
- Janelas
  - 820-850 nm - MMF
  - 1285 - 1330 nm - MMF/SMF
  - 1525 - 1575 nm - SMF





# Perdas - atenuação

- Absorção
  - absorção no infravermelho
  - absorção no ultravioleta



# Perdas - espalhamento

- Espalhamentos: transferência da potência de um modo para outro (efeito transformador)
  - Lineares
    - Rayleigh
    - Mie

# Perdas - espalhamento

## – Não-lineares

- Brillouin estimulado
- Raman estimulado
- Modulação de fase cruzada
- Mistura de 4 ondas
- Sólitron
- Espalhamento inelástico
  - acima de um limiar, parte da potência do sinal é transferida em sinal contra-propagante
- Refração não linear
  - dielétrico (índice de refração) varia com a intensidade do campo elétrico

# Perdas - resumo

- **Perda de retorno (reflexão)**
  - Conector ANSI/TIA/EIA menor que -20 db (usual -30 a -50 dB)
  - Emenda usual -50 a -60 dB
- **Perda de inserção (atenuação)**
  - Conector ANSI/TIA/EIA menor que 0,75 db (usual 0,5 dB)
  - Emenda usual 0,2 dB
- **Absorção (atenuação)**
- **Espalhamentos (difusão)**
- **Outros**
  - Fraturas (reflexão)
  - Desalinhamento (reflexão)
  - Excentricidade do núcleo (reflexão)
  - Curvatura (atenuação)

# Padrões do ITU-T

- G650
  - Parâmetros para testes em fibras
- G651
  - Multimodo 50/125
- G652
  - Monomodo comum
- G653
  - Monomodo dispersão deslocada
- G654
  - Monomodo de corte deslocado
- G655
  - Monomodo de dispersão deslocada não nula

# Parâmetros de medição

- Atenuação
  - Perda
  - Curvatura admissível
- Dispersão
  - Cromática
  - PMD
- Comprimento de onda de corte
- Não Linearidades
- Taxa de erro (BER= bit error rate)

# Especificações típicas de fibra

- **Multimodo**

- atenuação 850 nm 2.7- 3.5 dB/km
- atenuação 1300 nm 0.6 - 1.5 dB/km
- diâmetros 50-62.5/125  $\mu\text{m}$

- **Monomodo padrão (G652)**

- atenuação 1310 nm 0.33-0.36 dB/km
- atenuação 1550 nm 0.19-0.22 dB/km
- dispersão zero 1300 a 1326 nm
- diâmetros 8.5/125  $\mu\text{m}$

# Especificações típicas de fibra

- **Monomodo deslocado**

- |                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| • atenuação 1310 nm | 0.33-0.36 dB/km       |
| • atenuação 1550 nm | 0.19-0.22 dB/km       |
| • dispersão zero    | 1535 a 1565 nm        |
| • diâmetros         | 8.5/125 $\mu\text{m}$ |

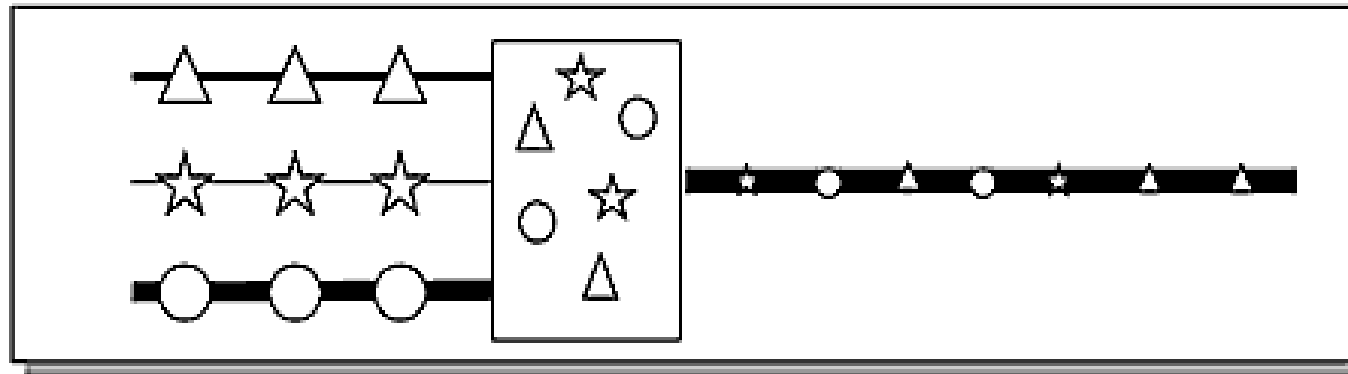


# Especificações ITU-T - Resumo

Parâmetro	G652	G653	G654
onda (nm)			
	1280 a 1335 1480 a 1580	1280 a 1335 1480 a 1580	1480 a 1580
Atenuação			
(dB/Km)	0,3 a 0,4	0,3 a 0,4	
	0,15 a 0,25	0,15 a 0,25	0,15 a 0,20
Dispersão cromática			
	1,2<m<6,2	-	-
	m<21	2,5<m<5,5	m<20

# Otimização no uso da fibra

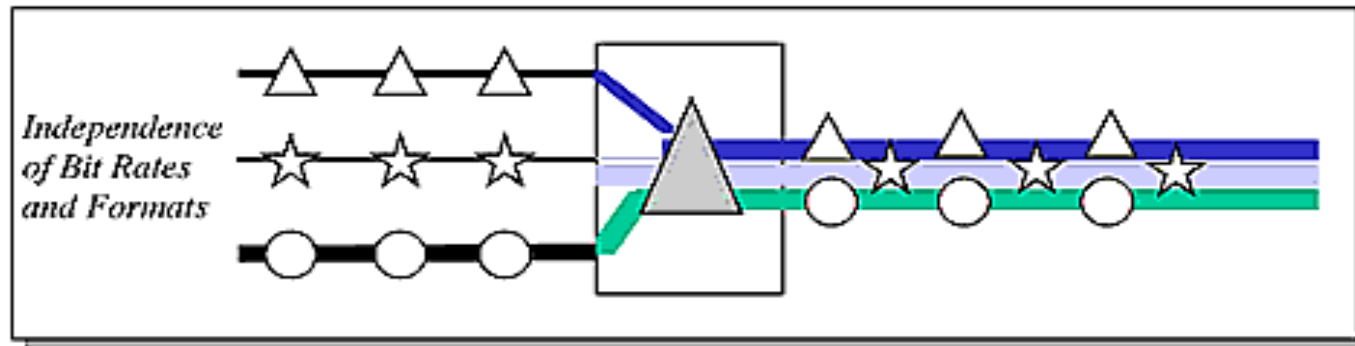
- Multiplexação no tempo (TDM)



- Combines traffic from multiple inputs onto one common high capacity output
- Allows high flexibility in managing traffic; fixed bandwidth
- Requires electrical mux/demux function

# Otimização do uso da fibra

- Multiplexação no espaço (WDM)



- Merges *optical* traffic onto one common fiber
- Allows high flexibility in expanding bandwidth
- Reduces costly mux/demux function, reuses *existing* optical signals.
- Individual channels use original OAM&P

DWDM = Dense WDM

# DWDM = Dense Wave Division Mux

- $\lambda$  separados em 0.8 nm (ITU-T) -> 32, 80 ou + canais
- 1440 a 1620 nm
- sem conversão eletro-óptica (amplificadores EDFA)

# DWDM - dificuldades

- **penalidade: diafonia (crosstalk)**
  - **diafonia linear**
    - filtros precisos
    - demultiplexadores precisos
    - controle sobre a largura espectral das fontes (lasers)
  - **diafonia não-linear**

# DWDM

- DWDM
  - 864 fibras / cabo
  - 128  $\lambda$  / fibra
  - OC-48 /  $\lambda$

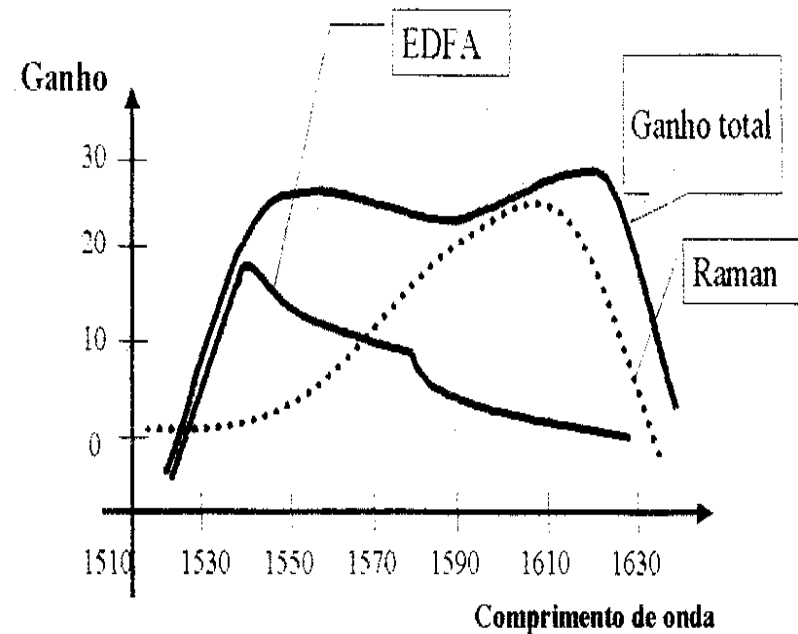
# Amplificadores ópticos

- **Vantagens da amplificação ótica**
  - **transparência ao formato**
  - **multi-comprimento de onda**
  - **bidirecional**
  - **baixo consumo**

# Amplificadores ópticos

- **Tipos**
  - Semicondutor
  - Raman
  - Fibra dopada com Pr ou Nd (1300 nm)
  - Fibra dopada com Er (1550 nm) - EDFA
- **Regeneração em 3 etapas (3R)**
  - potência (Re-amplified)
  - sincronismo (Re-timed)
  - forma pulso (Re-shaped)

## Amplificadores Ópticos de Faixa Larga





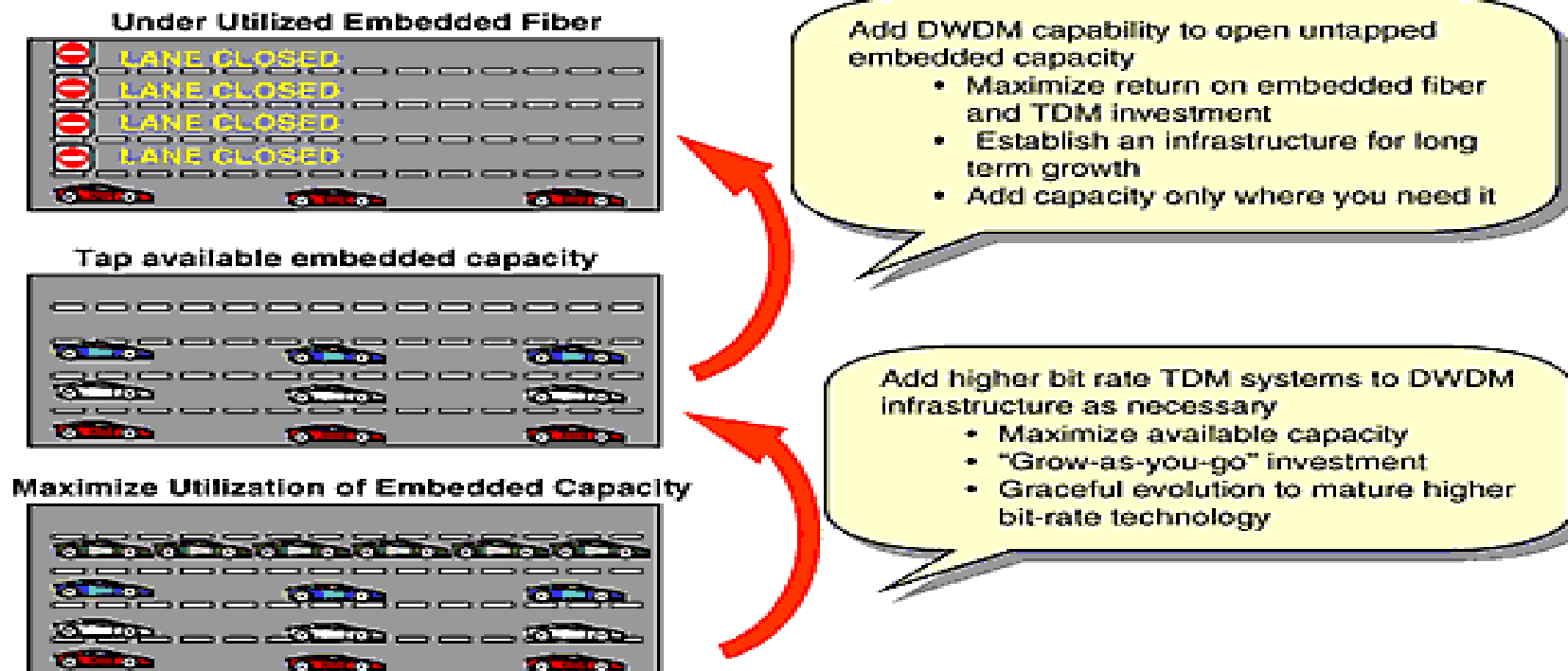
# Receptores ópticos

- ruído dominante é o ruído térmico
- **APD (Avalanche Photo-Diode) x PIN (Photo-Diode Intrinsic Junction)**
  - **APD: melhor sensibilidade (até 6 dB)**
  - **PIN: maior banda-passante**
    - sensibilidade melhor a custo de amplificador ótico

# Redes óticas: atualidade e Tendências

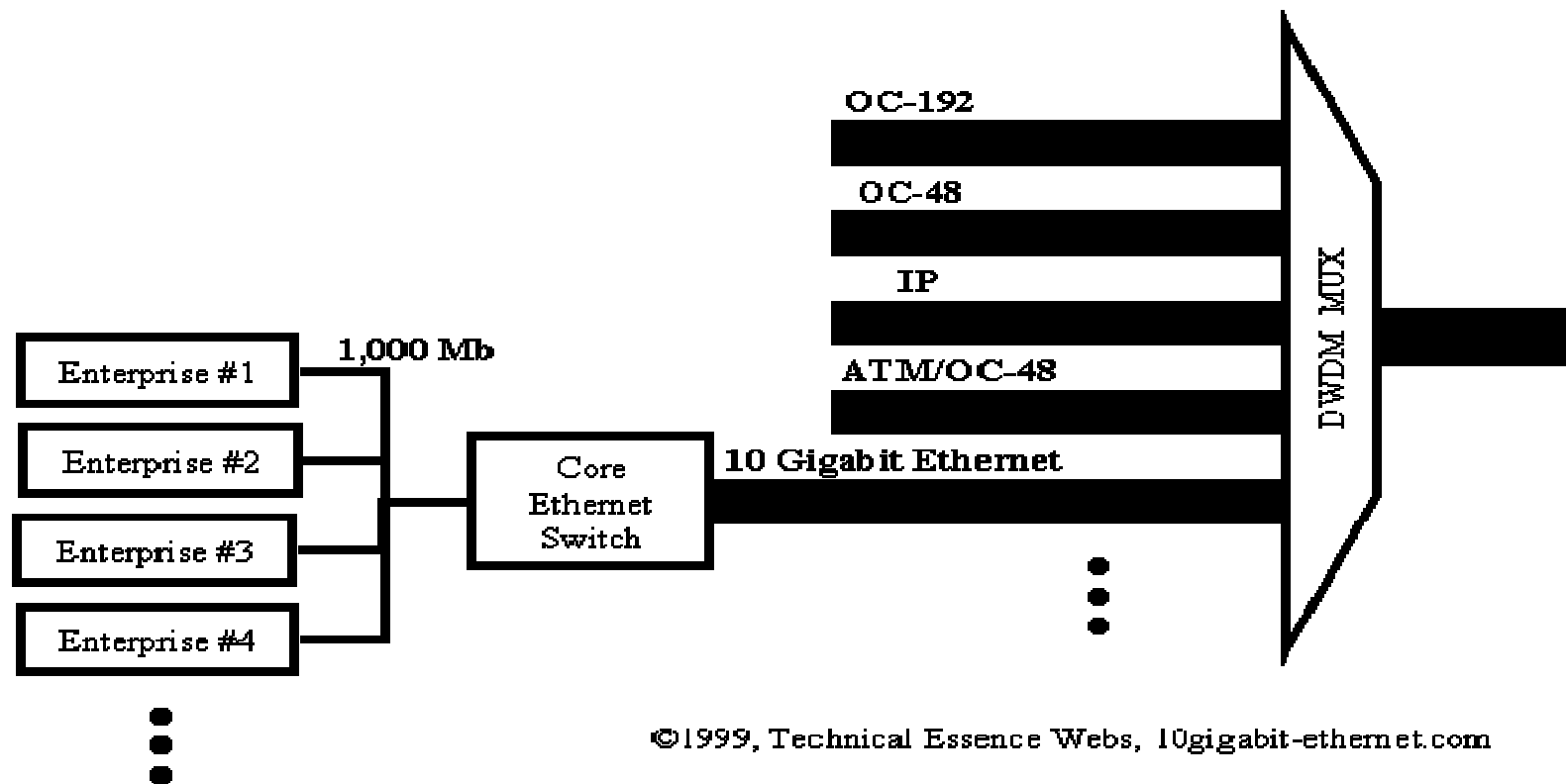
# Otimizar uso da fibra ao máximo

- TDM + WDM



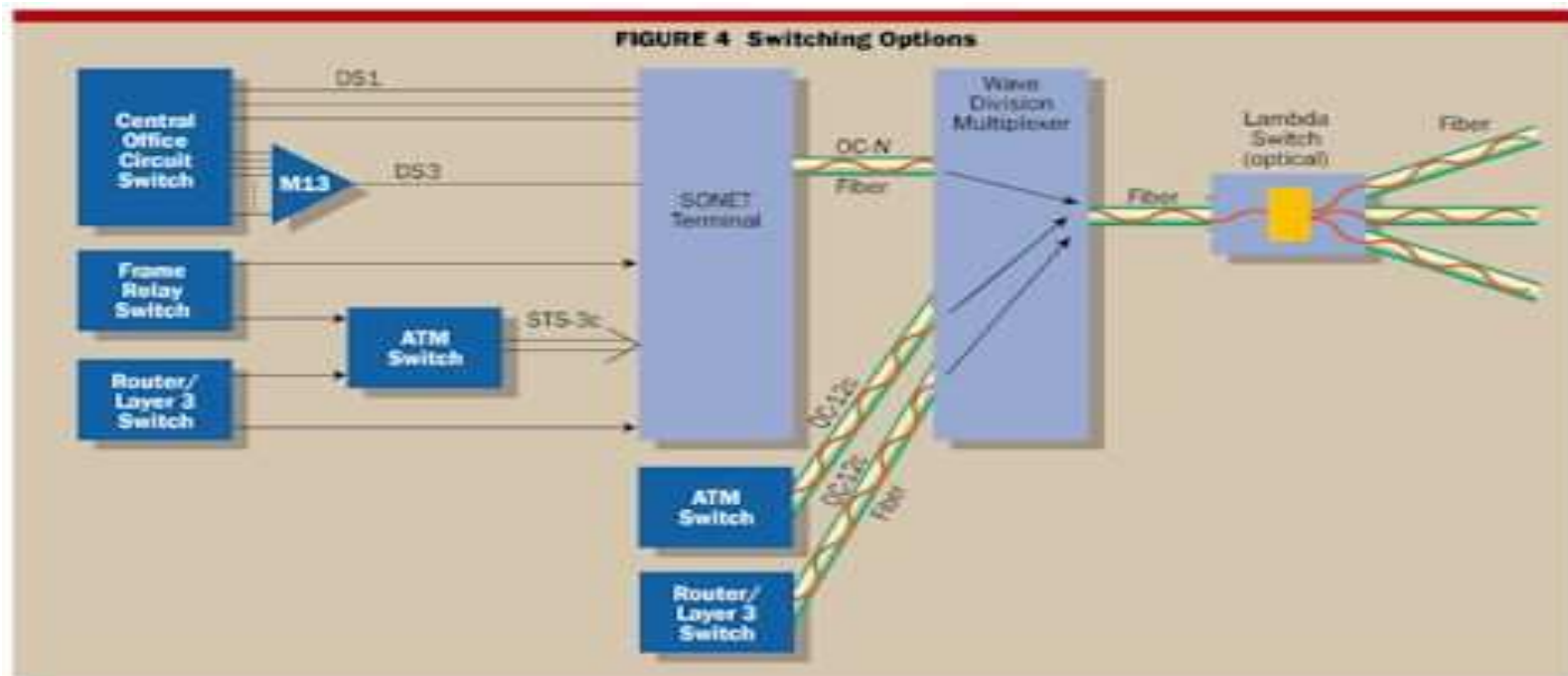
# Ex: WDM e 10GbE

- **Possible 10 Gigabit Ethernet over DWDM**



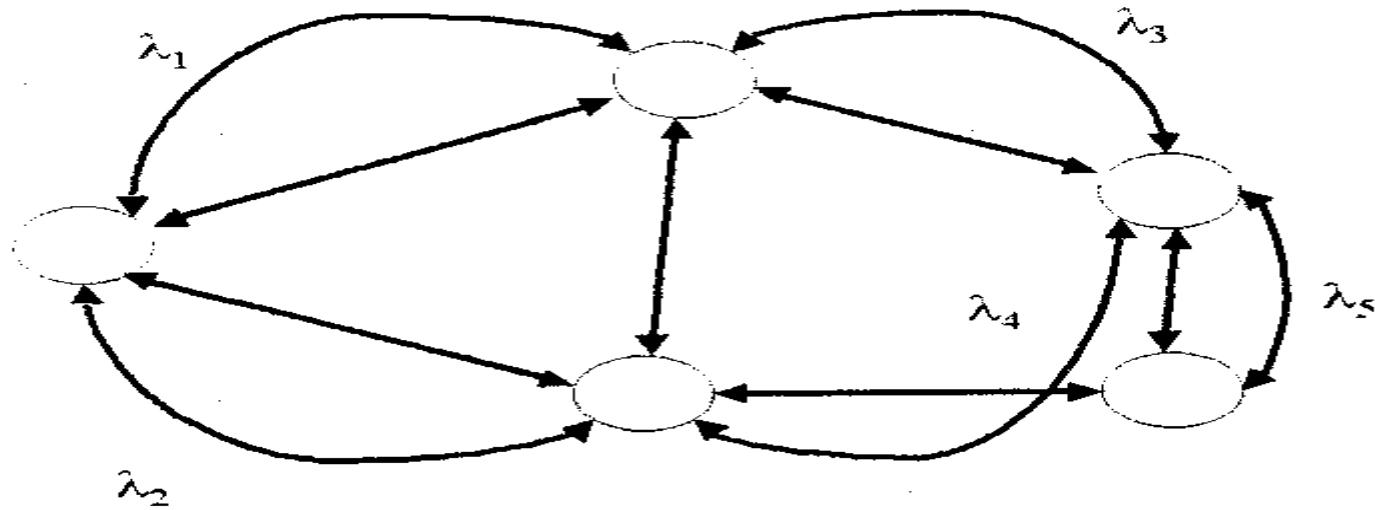
# Sem intermediários

- Comutação óptica



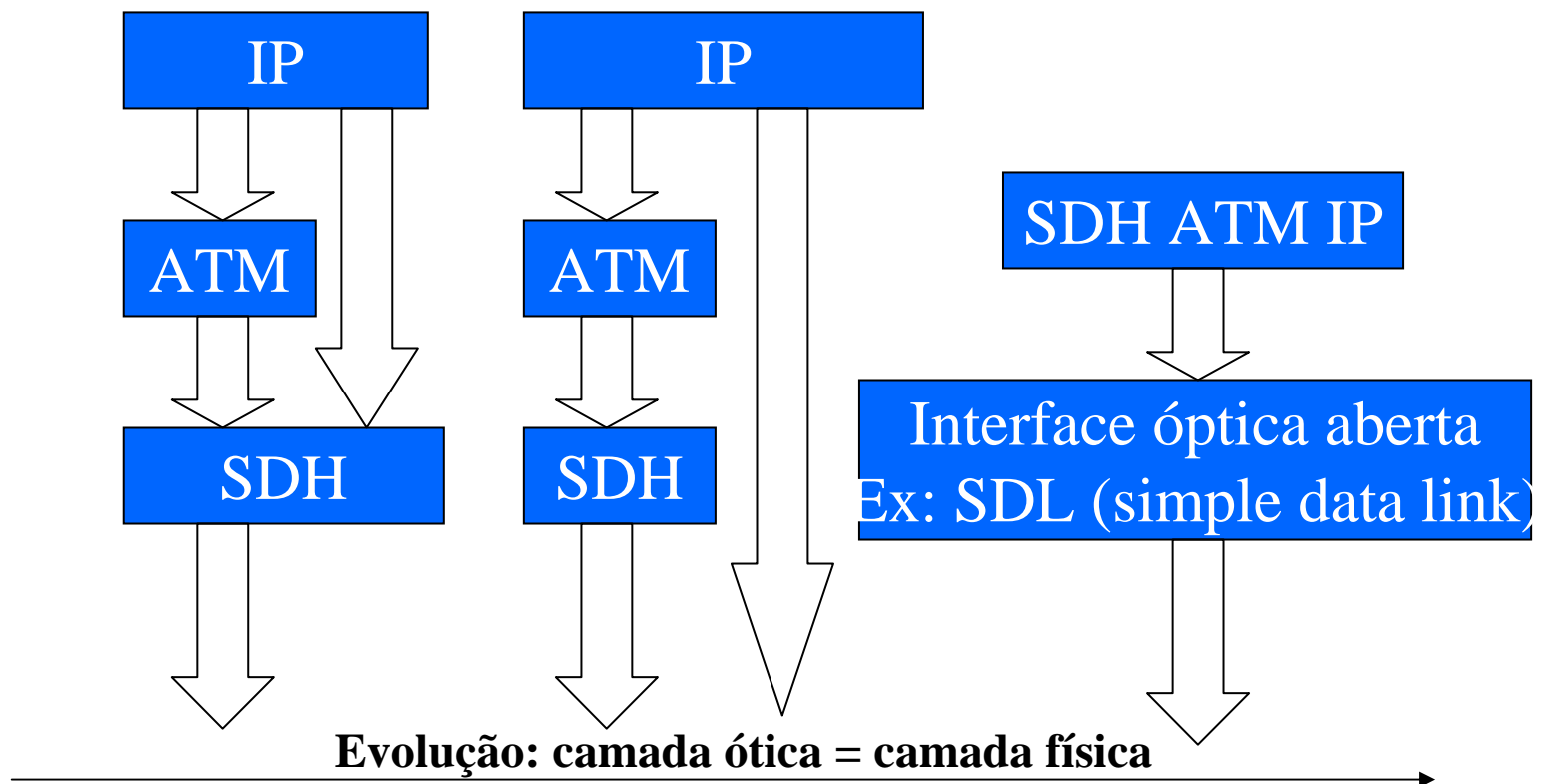
# Roteamento ótico

## Redes de roteamento de $\lambda$



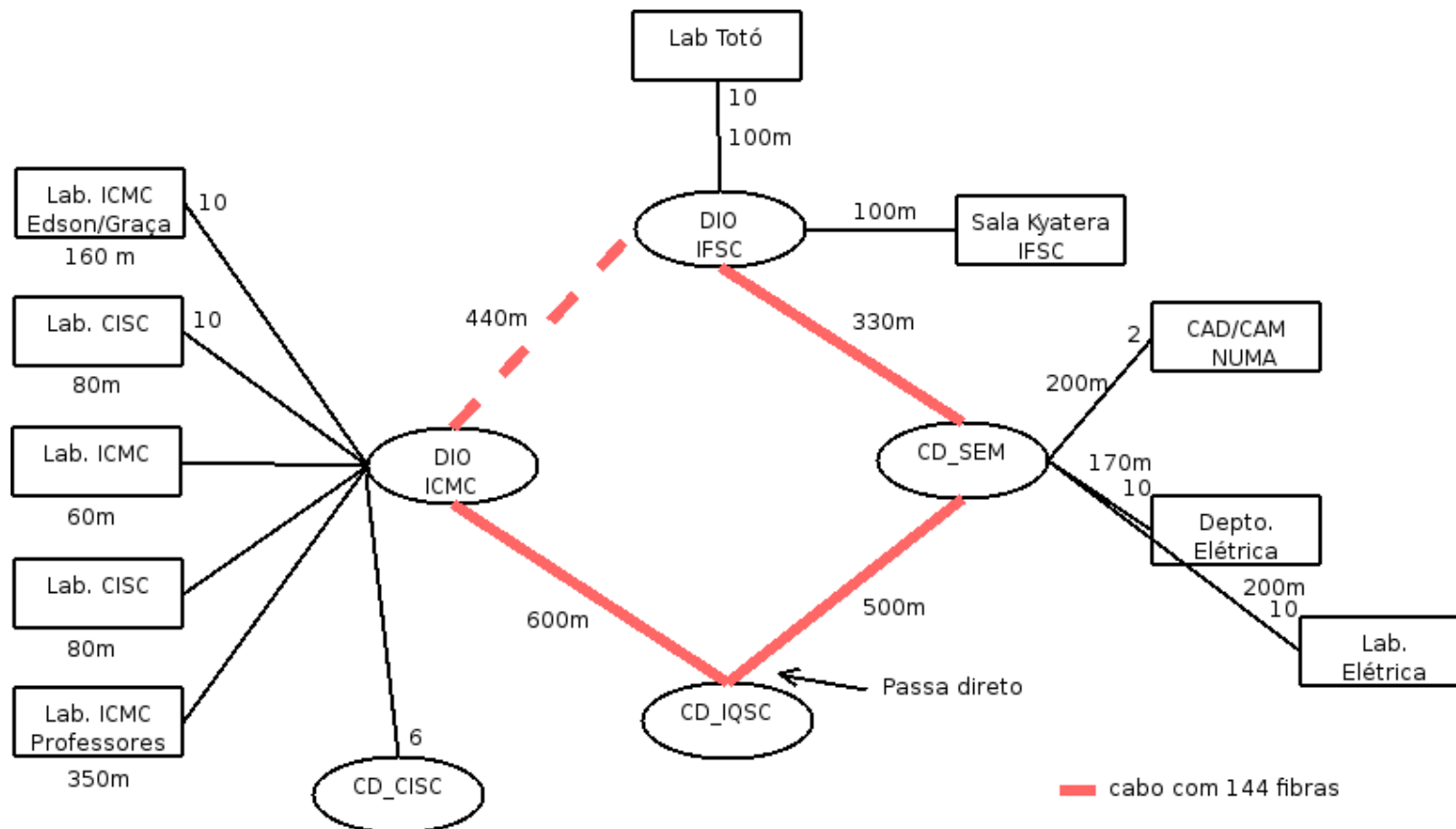
# Redes ópticas

- **Evolução**



# Kyatera

- <http://lways1.ifsc.usp.br/kyatera/anel.html>





StarLight

Giga

Taquara

# FTTH & PON

- **FTTH (fiber to the home)** is a form of fiber optic communication delivery in which the optical signal reaches the end user's living or office space.[\[1\]](#)
- A **passive optical network (PON)** is a [point-to-multipoint](#), [fiber to the premises](#) network architecture in which unpowered [optical splitters](#) are used to enable a single [optical fiber](#) to serve multiple premises

# Provinha 4

Uma fibra monomodo apresenta perdas de 1.5 dB/km. Supondo que a linha tenha 150 km (entre SCarlos e Campinas) e o sinal de saída tenha intensidade 1000, quantos amplificadores de 10 dB seriam necessários (e distribuídos de que maneira) para ter um sinal de intensidade 50 no destino?