

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

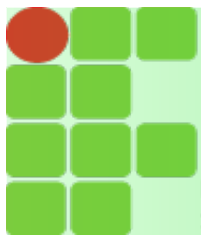
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Campus São José – Área de Telecomunicações

Curso Superior Tecnológico em Sistemas de Telecomunicações

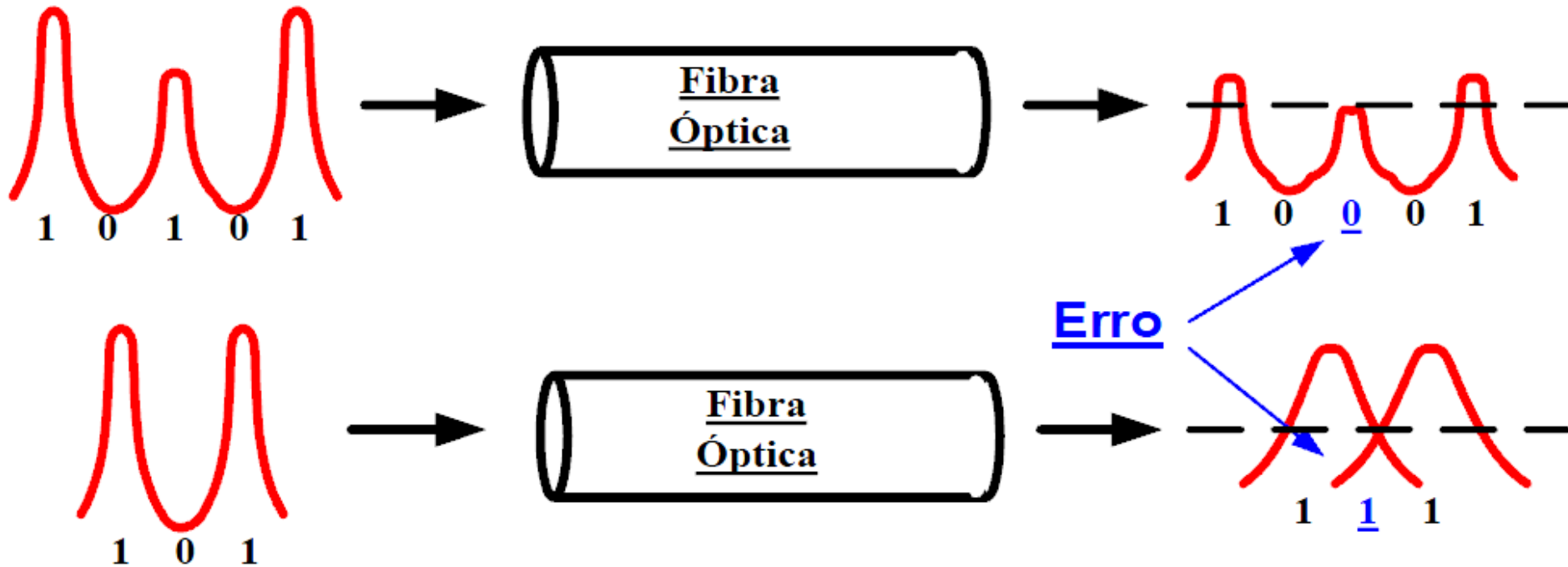
SISTEMAS ÓPTICOS

Atenuação e Dispersão

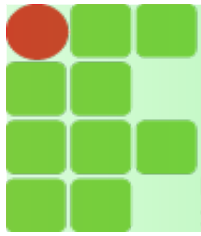


Limitações da fibra

Atenuação limita a distância

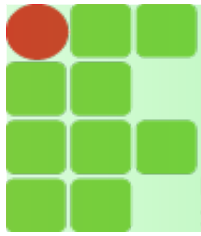


Dispersão limita a taxa de transmissão



Limitações da fibra

- A atenuação e a taxa de transmissão em uma fibra são completamente independentes uma da outra;
- A atenuação reduz a amplitude do campo óptico;
- A dispersão modifica a forma de onda;
- Os critérios de tolerância à atenuação e à dispersão do sinal luminoso determinarão a distância entre os repetidores e os tipos de repetidores (1R, 2R e 3R).

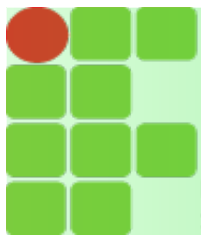


Atenuação

- A perda de transmissão de uma fibra óptica costuma ser definida em termos da relação de potência luminosa na entrada da fibra de comprimento L e a potência luminosa na sua saída;

$$\alpha_f = 10 \log \left(\frac{P_s}{P_e} \right) \times \frac{1}{L}, [dB/km]$$

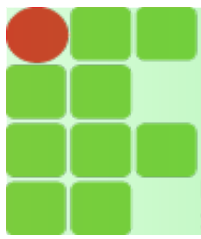
- Onde: α_f → atenuação sofrida na fibra (dB/Km)
 P_s → potência óptica de saída (Watts)
 P_e → potência óptica de entrada (Watts)
L → comprimento da fibra (Km)



Atenuação

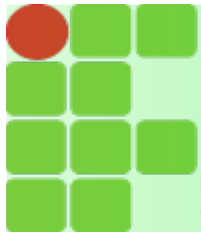
As causas da atenuação em um sistema de fibra óptica são:

- Absorção pelo material;
- Espalhamento (pelo material, de onda guiada);
- Atenuações em emendas e conexões;
- Perdas por acoplamento no início e final da fibra.
- Irradiação devido curvaturas;
- Perdas por microcurvaturas;
- Perdas por modos vazantes;



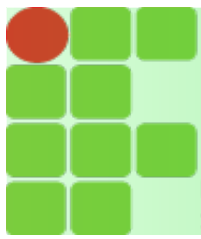
Absorção pelo material

- A absorção pelo material é um tipo de perda relacionado com a composição do material e o processo de fabricação da fibra. As imperfeições na composição da fibra e no seu processo de fabricação resultam em perda da potência óptica transmitida, tanto no núcleo quanto na casca.
- As causas dessa perda são as vibrações das moléculas e a transição de elétrons entre os níveis de energia do meio. Em frequências próximas das vibrações naturais desses componentes, o campo eletromagnético transfere parte de sua energia, reforçando essas oscilações.



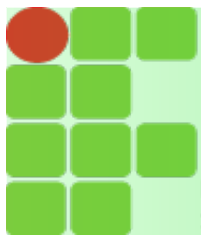
Absorção pelo material

- A absorção pelo material pode ser causada por 3 formas diferentes:
 - Absorção devido a defeitos na estrutura atômica (desprezível);
 - Absorção intrínseca;
 - Absorção extrínseca.



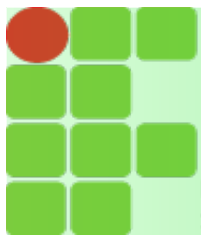
Absorção Intrínseca

- São aquelas originadas pela composição do material da fibra – impurezas existentes no material da fibra;
- Resulta basicamente de metais de transição, ferro, cobalto, crómio, níquel, etc;
- Para as fibras de sílica fundido a faixa de menor absorção vai de 700nm à 1600nm;
- Melhores técnicas de fabricação levam este tipo de absorção a níveis aceitáveis.



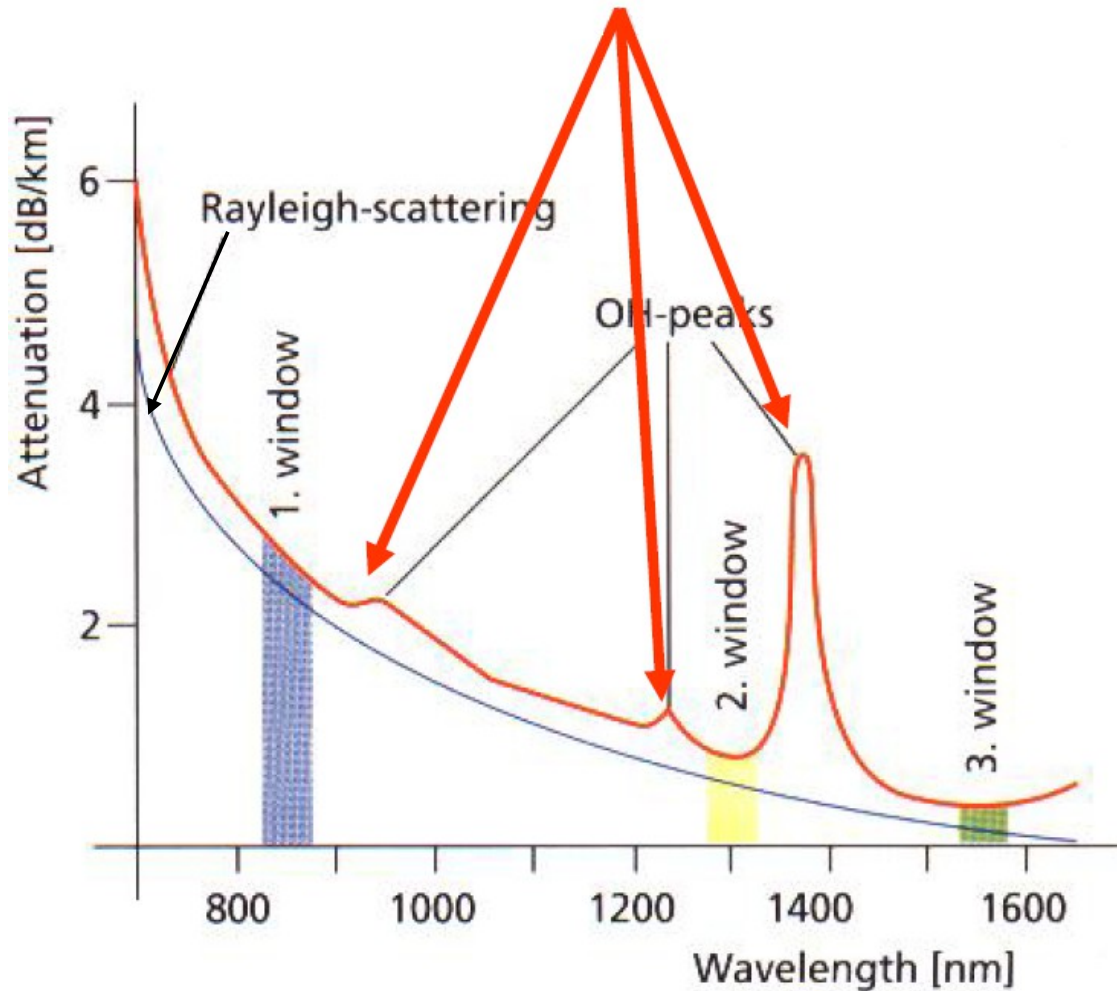
Absorção Extrínseca

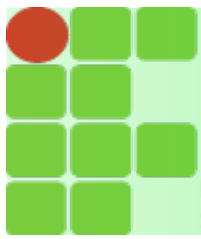
- Causada principalmente pela presença do íon hidroxila OH^- ;
- Concentração de poucas partes por bilhão (ppb) do íon OH^- são necessárias para obter valores de atenuação inferiores a 20 dB/Km;
- Tais impurezas, apresentam comportamentos atômicos que provocam absorção de uma parcela da intensidade luminosa da fibra, principalmente em alguns comprimentos de onda;
- Com a evolução tecnológica da fabricação, os níveis de íons OH^- , foram reduzidos a níveis de concentrações inferiores a 1 ppb e, em alguns casos, menores ainda.



Absorção devido íons OH^-

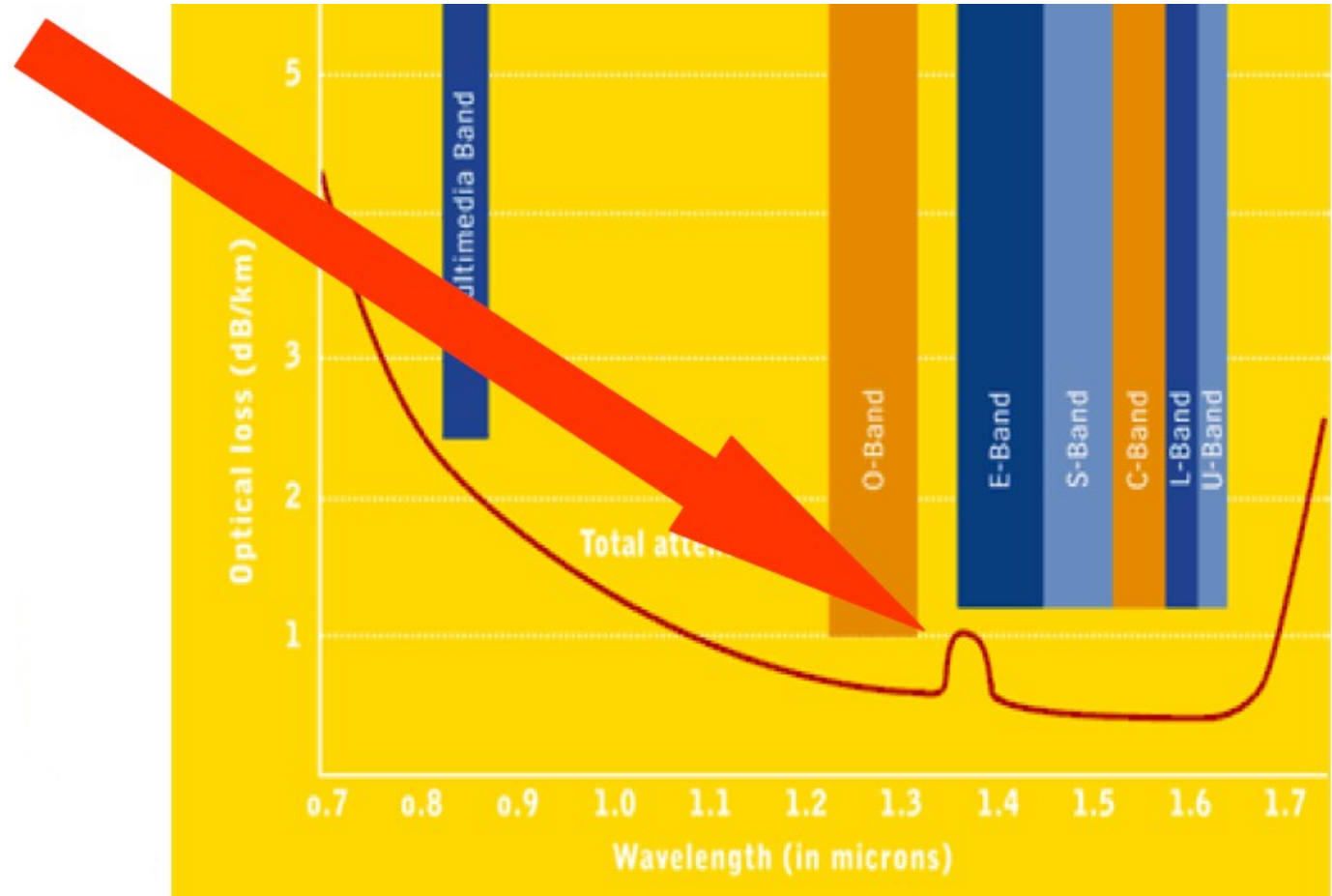
Picos de atenuação devido aos íons OH^-

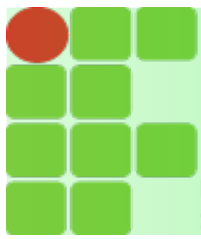




Absorção devido íons OH^-

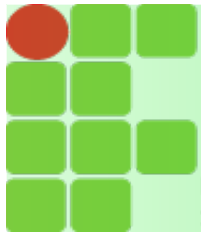
Com a evolução
na técnica de
fabricação os
picos diminuíram





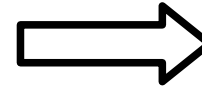
Perdas por Espalhamento

- As perdas por espalhamento incluem reduções na amplitude do campo guiado por mudanças na direção de propagação, causadas pelo próprio material e por imperfeições no núcleo da fibra. Isto é, as perdas por espalhamento ocorrem em função do desvio da luz em diferentes direções;
- O espalhamento linear refere-se à transferência de uma parcela da luz de um modo de propagação para outros modos, quando a quantidade de energia transferida for diretamente proporcional à potência da luz guiada;



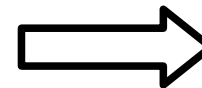
Perdas por Espalhamento

- Espalhamento de *Rayleigh*
- Espalhamento de Mie

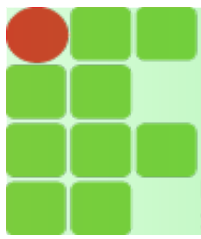


**Espalhamentos
lineares**

- Espalhamento estimulado de *Brillouin*
- Espalhamento estimulado de Raman

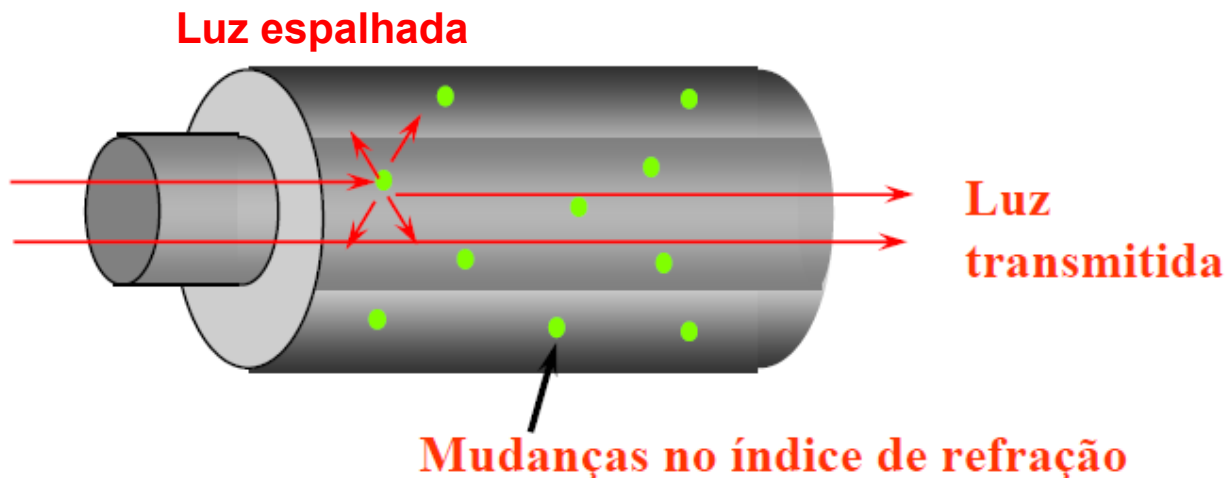


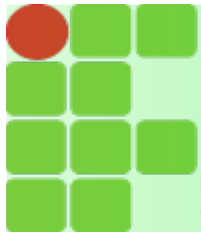
**Espalhamentos
não-lineares**



Perdas por Espalhamento

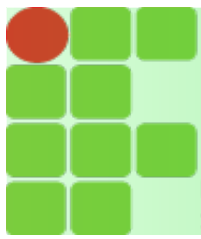
- O espalhamento é causado por:
 - Flutuações térmicas;
 - Variações de pressão;
 - Pequenas bolhas;
 - Variação no perfil de índice de refração;





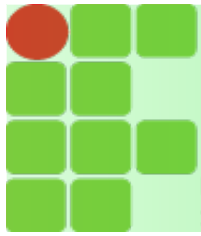
Perdas por Espalhamento

- O espalhamento Rayleigh é o mais importante e resulta de irregularidades submicroscópicas na composição e densidade do material. Estas são bem pequenas quando comparadas ao comprimento de onda de transmissão (inferior a 10%);
- O resultado é uma flutuação no valor do índice de refração do material ao longo da fibra;
- O espalhamento de Mie pode ser observado quando as irregularidades da fibra têm dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz guiada. Quando são superiores a 10% do comprimento de onda do feixe óptico;
- As irregularidades neste caso são: bolhas, minúsculos defeitos na interface do núcleo com a casca, variações no diâmetro da fibra, sinusoidades no eixo conhecidas como microcurvaturas.



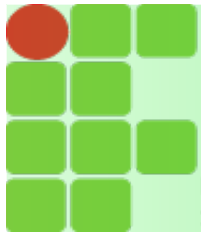
Perdas não-Lineares

- Os valores de potência óptica dentro da fibra são da ordem de miliwatts, entretanto sua seção transversal é também minúscula, o que significa uma elevada densidade de potência dentro do núcleo;
- A densidade de potência é proporcional ao quadrado do campo elétrico transmitido, tornando-se muito grande dentro da fibra. Quando ultrapassar um certo valor crítico o meio passa a ter uma resposta não-linear à excitação aplicada;
- Logo, as variações na potência de saída da fibra deixam de ser proporcionais às variações da potência de entrada;
- Então, haverá transferência de energia de um modo para outro, ou mesmo dentro do mesmo modo, em comprimentos de onda diferentes;



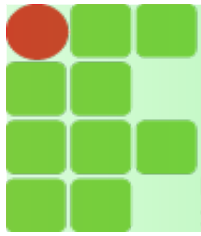
Perdas não-Lineares

- Quando a energia vai para o mesmo modo, gera uma onda que se propaga em sentido contrário ao originalmente aplicado ou pode alterar a polarização do campo guiado;
- A consequência é que a onda introduzida no início da transmissão tem um decréscimo na potência a mais, o qual deve ser adicionado aos outros mecanismos de perda.
- Os efeitos não-lineares surgem principalmente nas fibras monomodo, por causa do menor diâmetro do núcleo;
- Nas fibras multimodo o núcleo tem diâmetro bem maior e nem sempre a densidade de potência alcançará o valor necessário para conduzi-la a uma condição de não-linearidade.



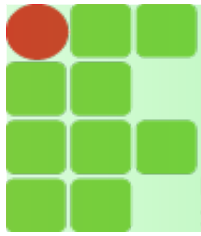
Perdas não-Lineares

- Se o meio não estiver excitado por outra fonte de energia, absorverá parte da energia dos fótons, transferindo os elétrons para níveis mais elevados. Logo, a onda espalhada terá frequência diferente do sinal guiado (Lei de Planck);
- Frequência ou deslocamento de Stokes \rightarrow diferença entre essas duas frequências;
- Havendo transferência de energia para uma frequência diferente, a potência contida em um dado comprimento de onda diminuirá;
- A elevada densidade de potência óptica, isto é, grande quantidade de fótons por unidade de tempo por unidade de superfície, forçará o aparecimento de vibrações mecânicas em nível molecular.



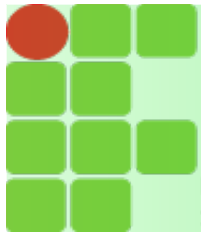
Perdas não-Lineares

- No espalhamento estimulado de Brillouin ocorre uma modulação da luz causada pelas vibrações. Sendo que o máximo de desvio da frequência ocorre no sentido oposto ao originalmente estabelecido na fibra.
- Este espalhamento é um fenômeno que excita uma onda retrógrada no núcleo. É possível percebê-lo quando a potência guiada ultrapassa alguns miliwatts;
- O espalhamento estimulado de Raman refere-se à transferência da energia óptica que ocorrerá em bandas laterais mais separadas em relação ao comprimento de onda original. As frequências espalhadas serão maiores do que as do espalhamento de Brillouin;
- As bandas laterais resultantes deste efeito podem estar separadas de até 200nm. O efeito predominante é no sentido direto da propagação.



Perdas não-Lineares

- O espalhamento de Raman se verifica quando a potência aplicada for grande, da ordem de 10 a 1.000 vezes maior do que no caso do espalhamento de Brillouin;
- Quando a transmissão pela fibra estiver sendo feita em um único comprimento de onda, a potência típica para dar origem ao efeito Raman é da ordem de 50mW a 100mW ;
- Para os níveis de sinal mais comuns, a perda de potência causada por este tipo de problema não é significativa na transmissão de informações em fibras ópticas.

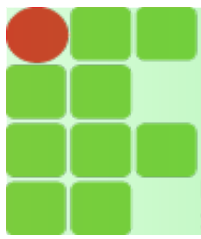


Perdas por deformações mecânicas

- As perdas por deformações mecânicas podem ser de dois tipos:

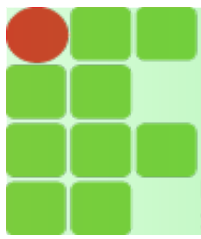
→ MICROCURVATURAS;

→ MACROCURVATURAS.



Macrocurvaturas

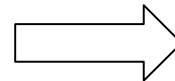
- A ocorrência da perda é dada quando os modos próximos ao ângulo crítico (alta ordem) ultrapassam este valor em função da curvatura. Assim deixam de ser totalmente refletidos internamente, passando a ser refratados;
- Na interface do núcleo com a casca, o campo guiado deve satisfazer determinadas condições de contorno impostas pelas leis da teoria eletromagnética:
 - a componente tangencial do campo elétrico e a componente tangencial do campo magnético da luz devem ser sempre contínuas na fronteira de separação;
 - no ponto da interface entre o núcleo e a casca as amplitudes dos campos elétrico e magnético tangenciais devem ser sempre iguais;
 - isto exige um ajuste automático da velocidade de propagação do campo fora do núcleo ao se encurvar a fibra.



Macrocurvaturas

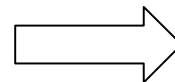
- Para que estas condições sejam satisfeitas, a velocidade do campo deve ser igual à velocidade da luz;
- Assim, a partir de uma certa distância (raio crítico – r_c) o modo guiado deveria propagar-se com uma velocidade superior à velocidade da luz. Como isto não é possível, a partir de uma determinada distância radial, haverá modos de irradiação.

$$r_c \approx \frac{3N_1^2 \lambda}{4\pi (N_1^2 - N_2^2)^{3/2}}$$

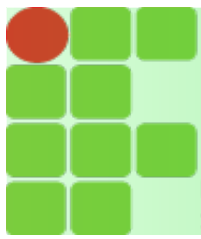


Fibra multimodo

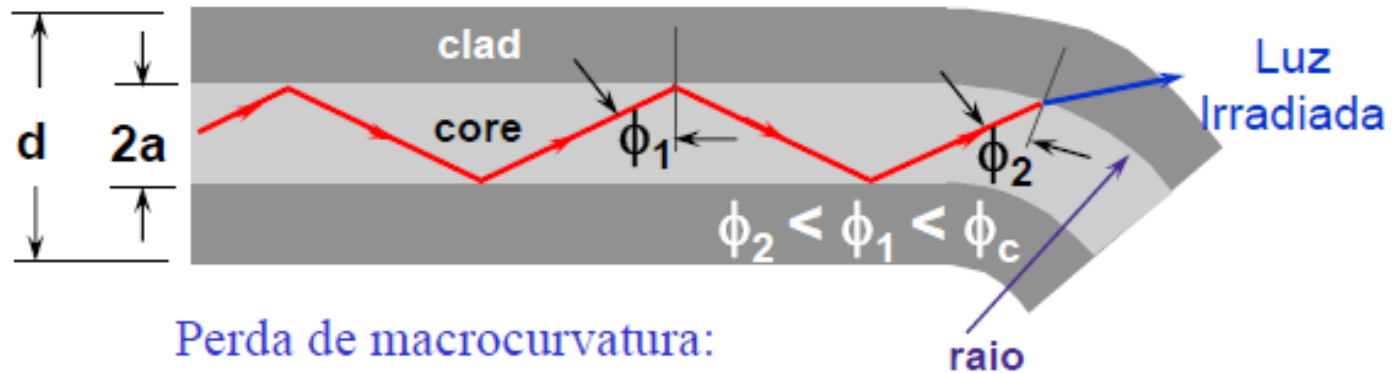
$$r_c \approx \frac{20 \lambda}{(N_1^2 - N_2^2)^{3/2} \left[2,748 - 0,996 \left(\frac{\lambda}{\lambda_c} \right) \right]^3}$$



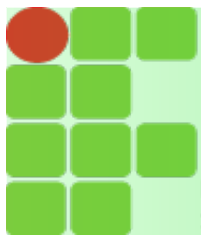
Fibra monomodo



Macrocurvaturas

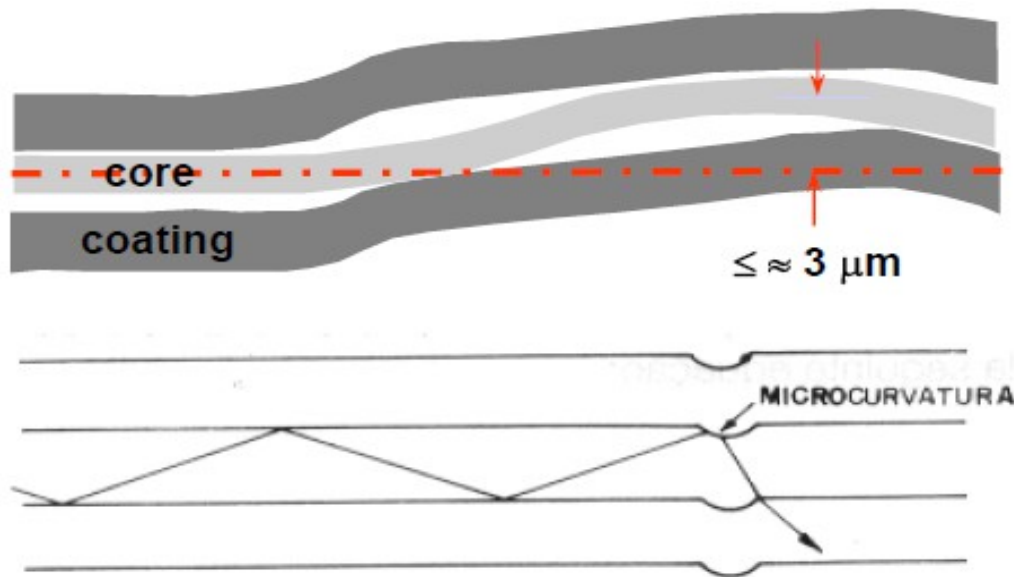


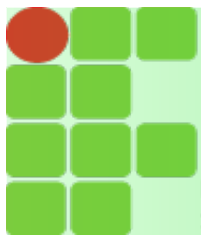
Perda de macrocurvatura:
depende do comprimento de onda



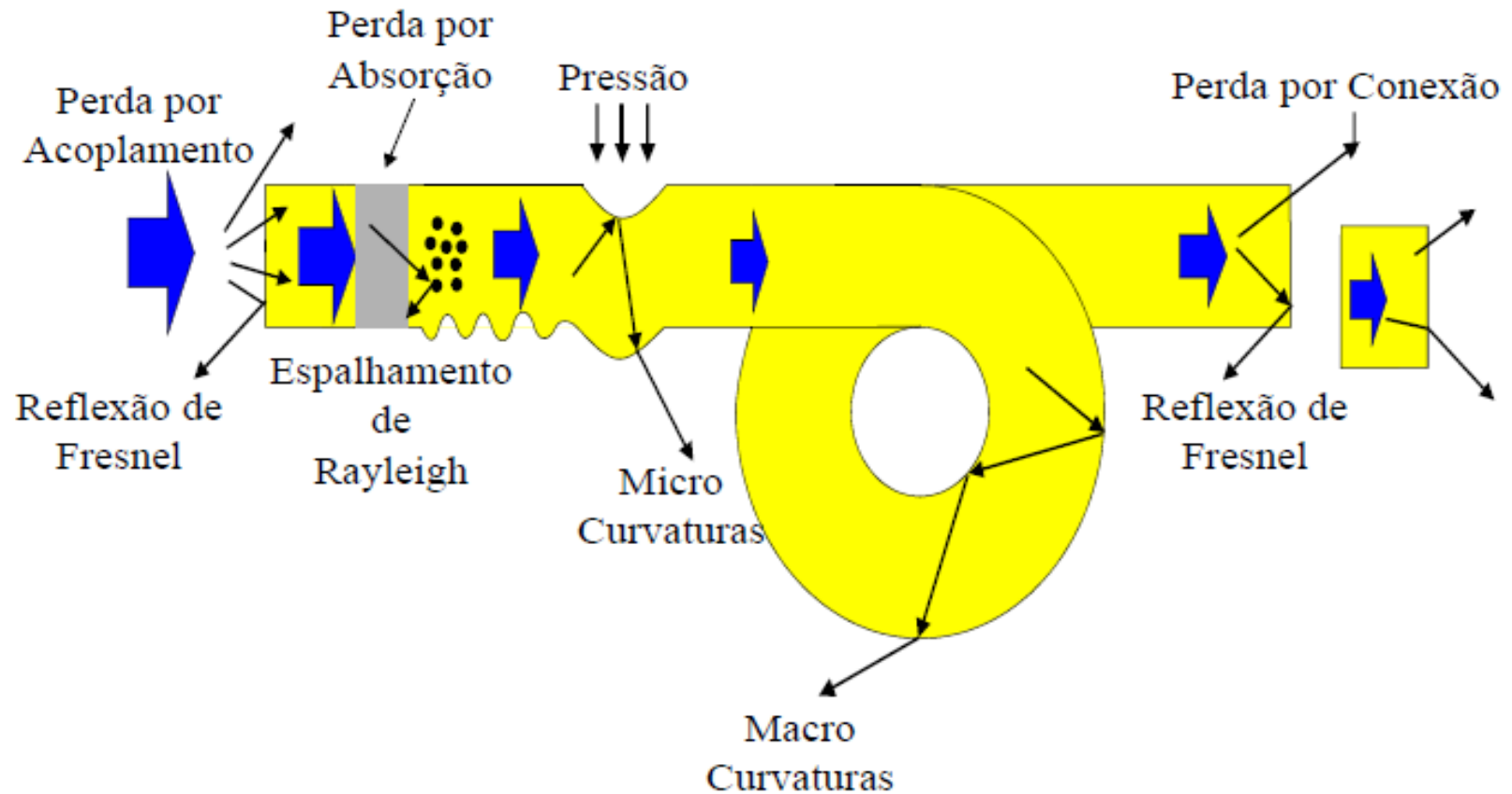
Microcurvaturas

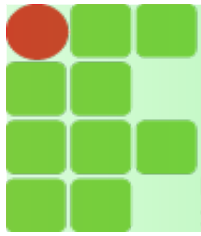
- É uma pequena deformação na fronteira entre o núcleo e a casca;
- Pode ser provocado por qualquer força transversalmente aplicada na superfície da fibra;
- Parte da energia é perdida devido aos modos de alta ordem tornarem-se não guiados.





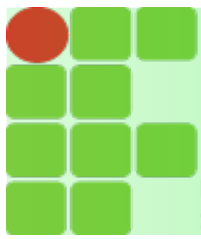
Tipos de atenuações





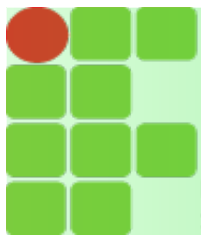
Atenuação

- Tanto nas fibras MM como nas SM a atenuação é dependente do comprimento de onda;
- Em fibras com múltiplos modos de propagação, a energia óptica é dividida entre os muitos percursos possíveis e cada um apresentará valor próprio de perda;
- Portanto, é possível encontrar resultados diferentes para medições da perda em diferentes ocasiões;



Exercício

- 1) Verifique se o sistema abaixo atende ao balanço de potência .
 - a) Enlace composto por três segmentos de fibra com $L_1 = 200$ m, $L_2 = 300$ m e $L_3 = 100$ m.
 - b) Taxa de transmissão de 10 Mbps.
 - c) BER = 10^{-9}
 - d) Margem de Segurança = 3 dB.
 - e) LED , $\lambda = 850$ nm, Potência máxima -13 dBm, $\Delta\lambda = 50$ nm, $B_e = 50$ MHz
 - f) fibra multimodo com $\alpha = 5$ dB/Km @ 850 nm,
 - g) 4 conectores com perda de 1 dB.
 - h) receptor com sensibilidade de -33 dBm e potência máxima de -20dBm @ 850 nm.



Exercício

- 2) Verifique se o sistema abaixo atende ao balanço de potência
- a) Enlace de 80 Km, com segmentos de cabo de 3 km
 - b) perda por emenda de 0,2 dB
 - c) Taxa de transmissão de 2,5 Gbps.
 - d) $BER = 10^{-11}$
 - e) $MS = 3$ dB.
 - f) LASER , $\lambda = 1550$ nm, Potência média 0 dBm, $\Delta\lambda = 5$ nm, $B_e = 2,4$ GHz
 - g) fibra multimodo com $\alpha = 0,5$ dB/Km @ 1550 nm, $NA = 0,3$, $M = 100$ ps/nm.Km @ 1550 nm, $B_o = 2,5$ GHz.Km
 - h) 6 conectores com perda de 1 dB.
 - i) receptor com sensibilidade de -26 dBm e potência máxima -5 dBm @ 1550 nm, $B_e = 2,4$ GHz