

FIBRAS ÓPTICAS

PSI3483 – Ondas Eletromagnéticas em
meios guiados

Prof. José Kleber da Cunha Pinto

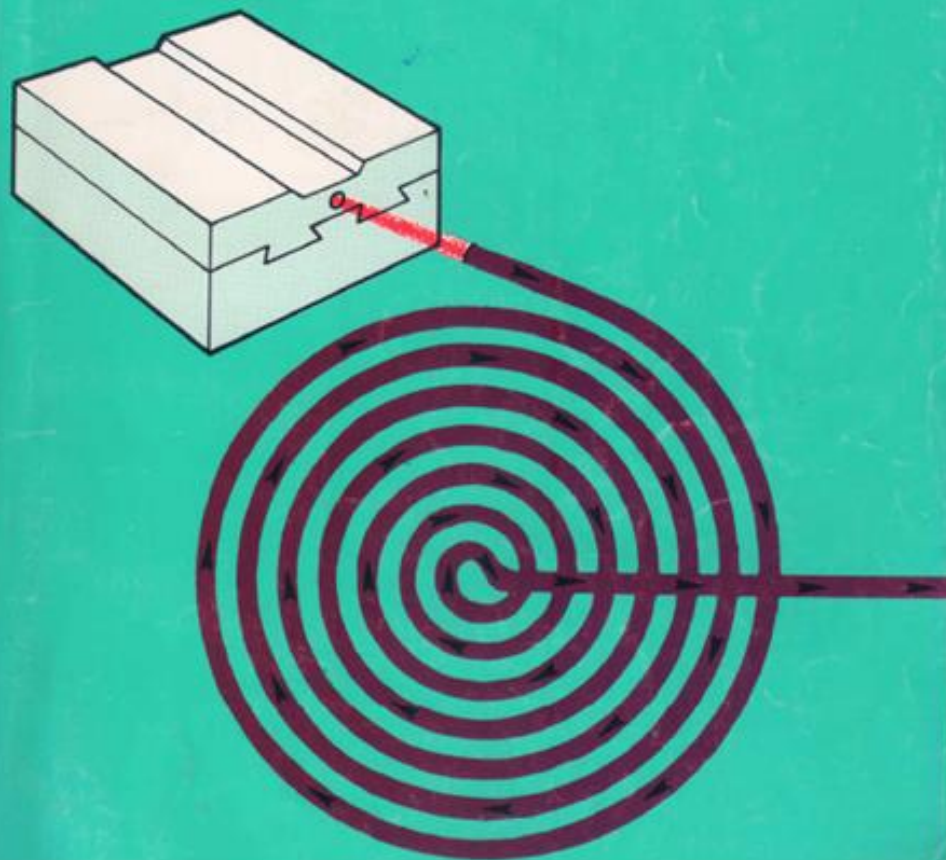
PROCEEDINGS OF THE IEEE



THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS
1033 N. 17TH ST. WASHINGTON, DC 20036

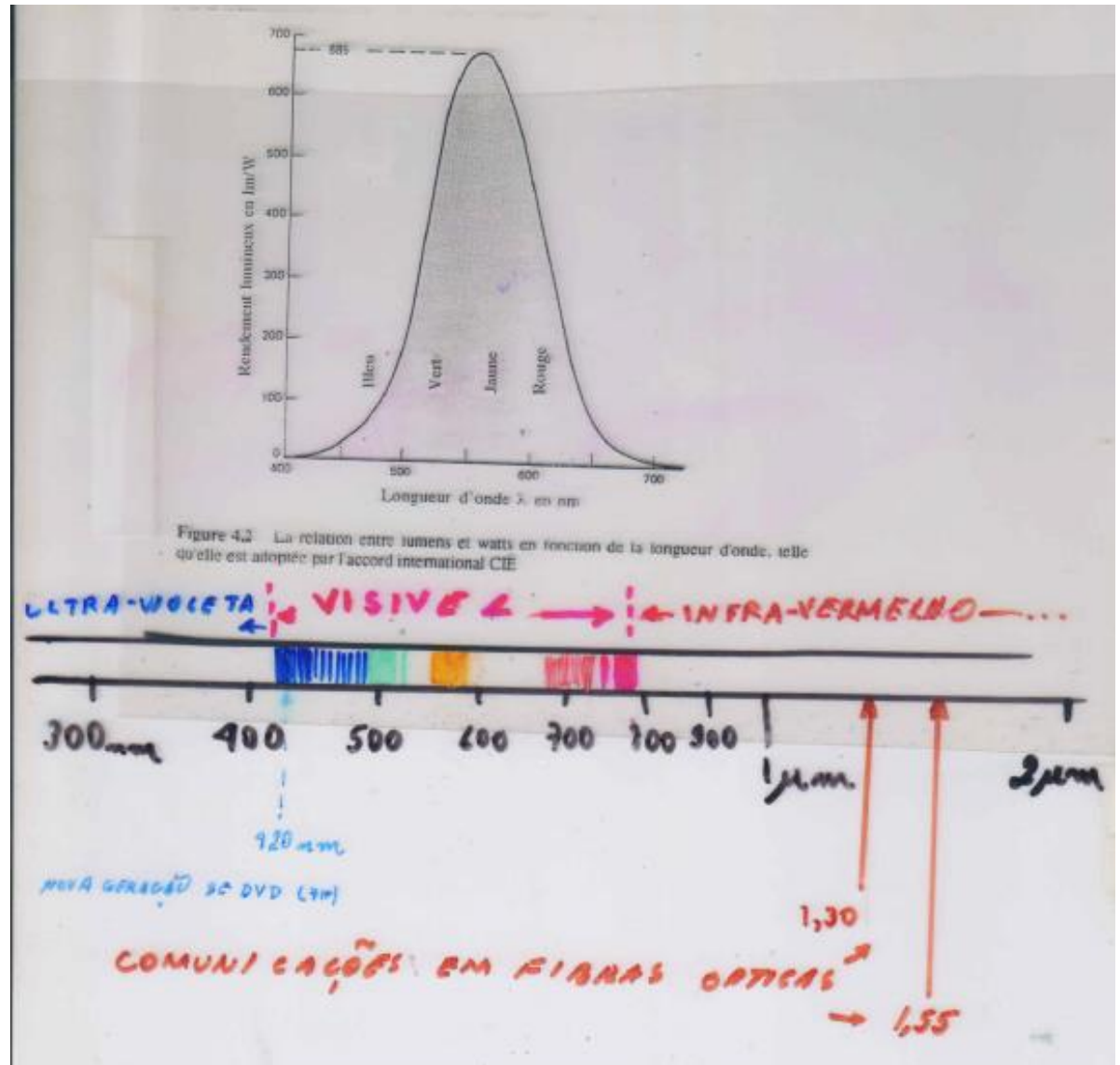
JUNE 1980

optical communication



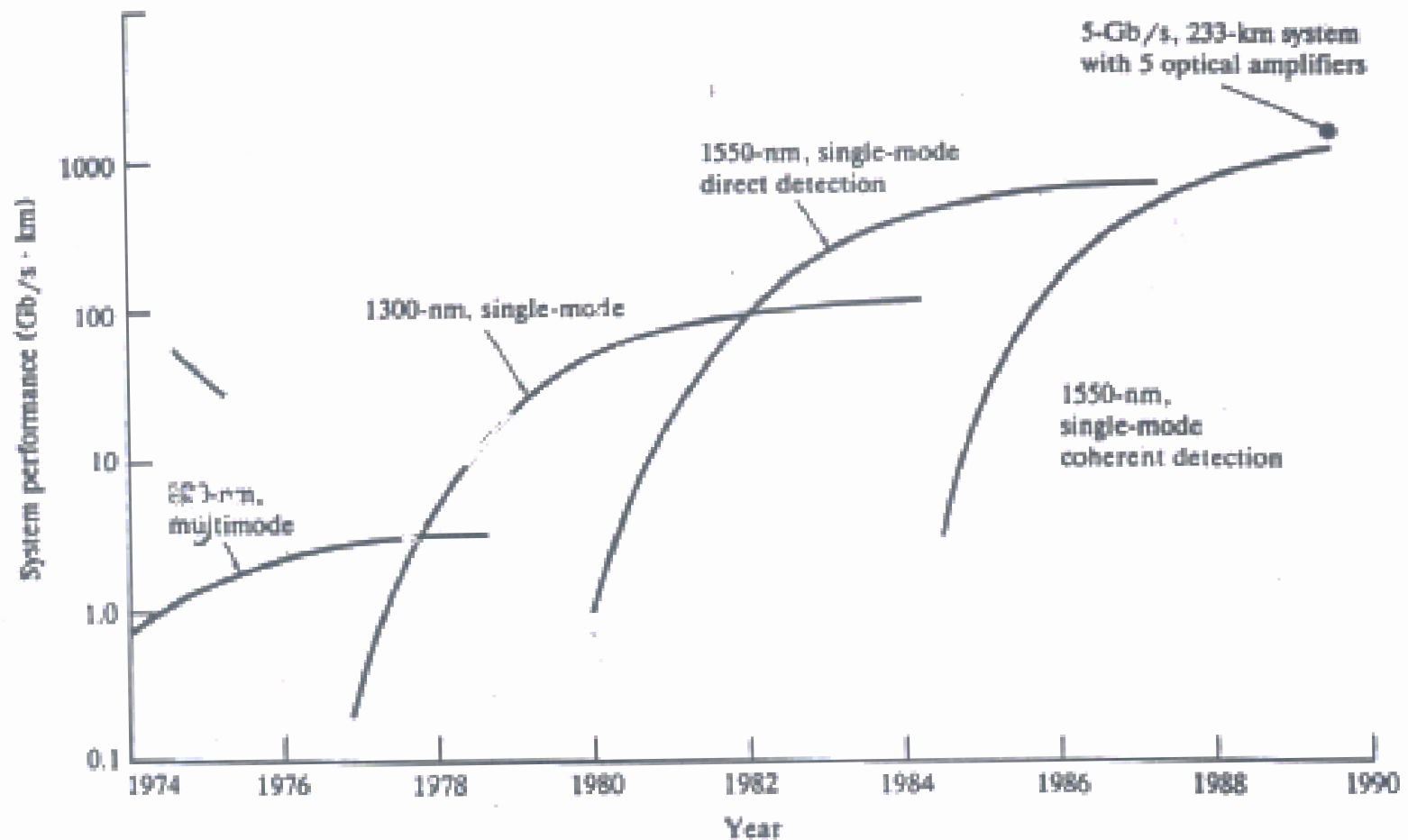
FIBRAS ÓPTICAS

- Frequências de infravermelho
- Comprimentos de onda
1,30 a 1,55 μm



FIBRAS ÓPTICAS

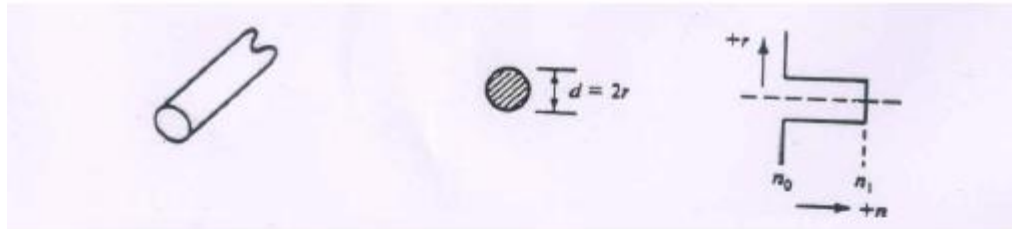
Evolução de quatro gerações de sistemas ópticos



FIBRAS ÓPTICAS

Perfis de dopagem do core

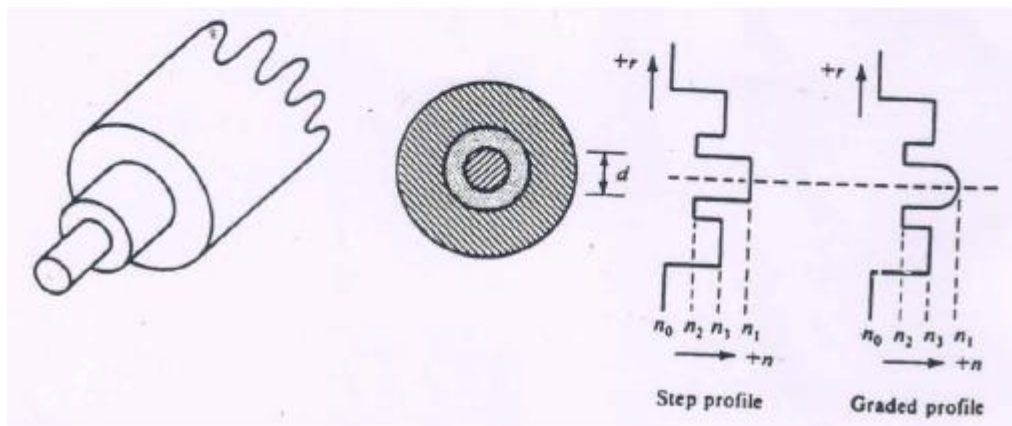
- *Unclad fiber*



- *Single clad step index fiber*

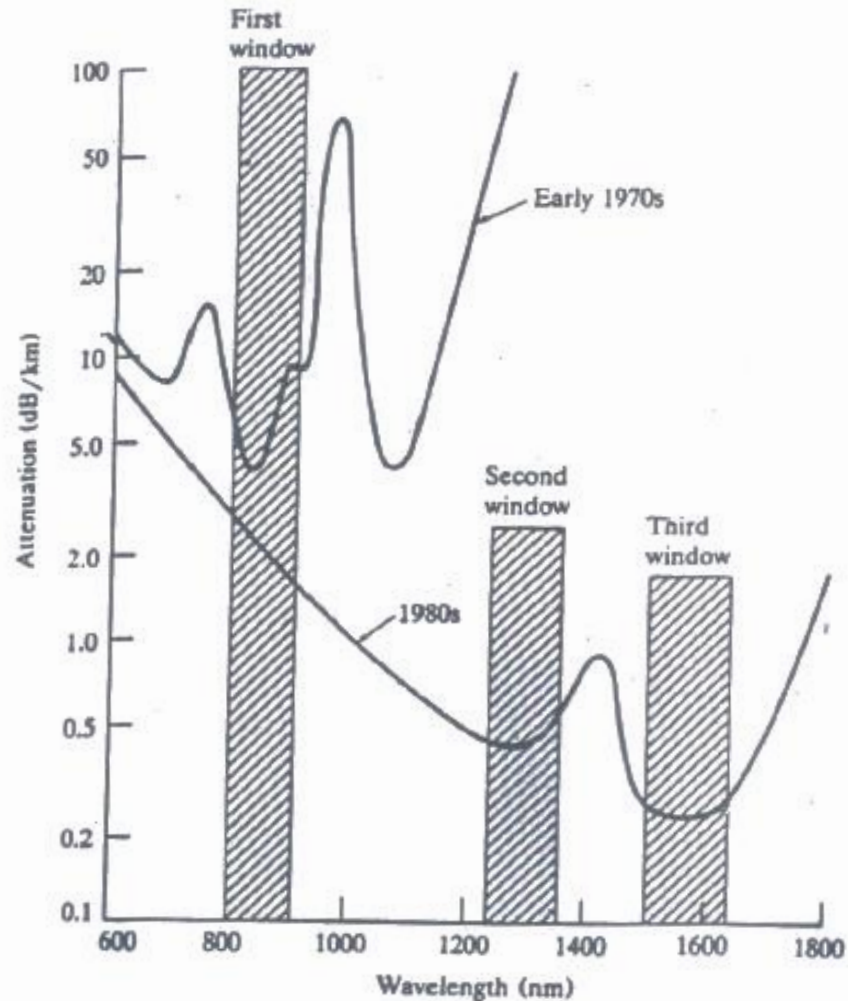


- *Double clad fiber with a W profile*



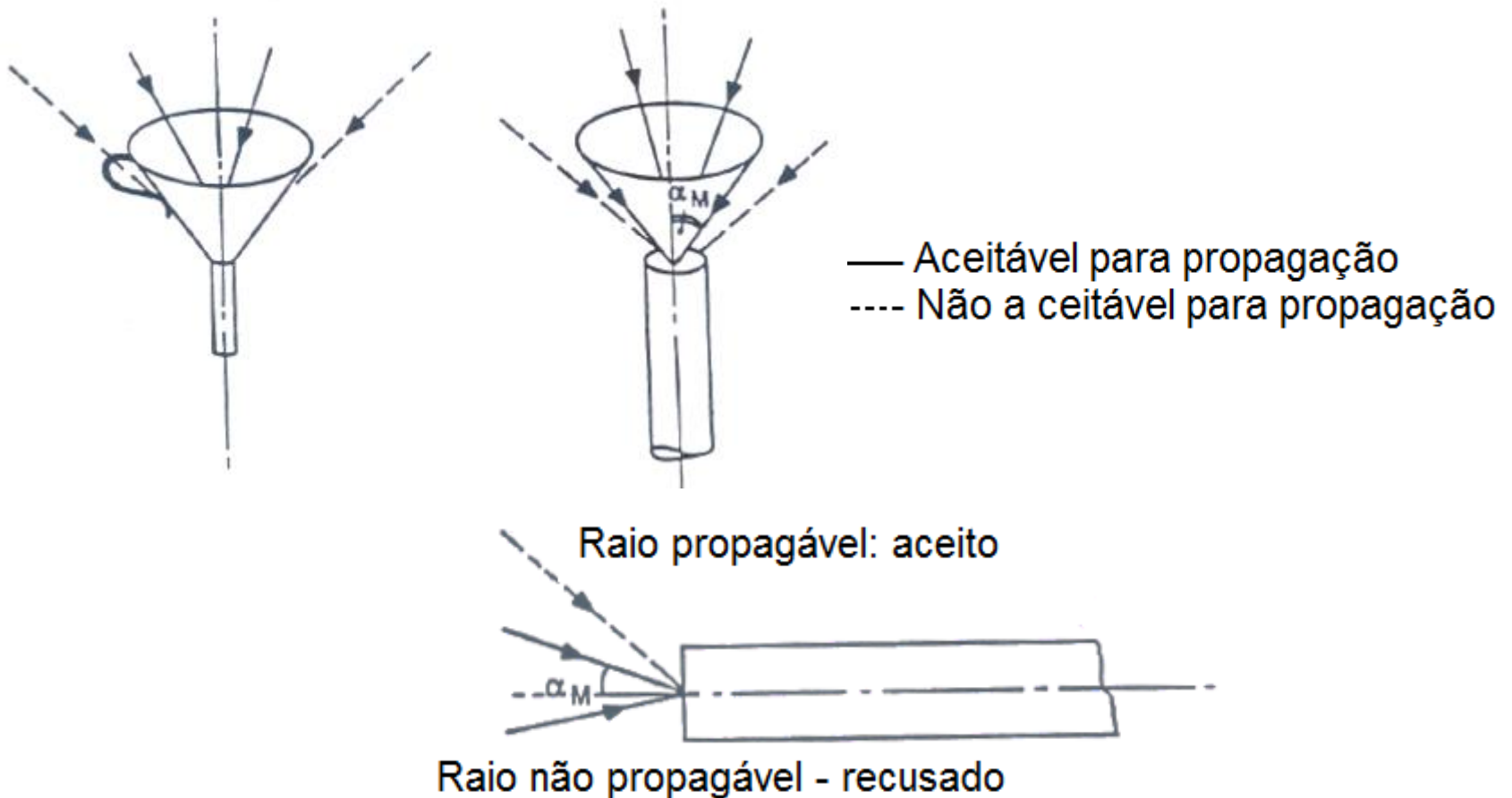
FIBRAS ÓPTICAS

Atenuação da fibra óptica em função do comprimento de onda



FIBRAS ÓPTICAS

Propagação na fibra óptica - ângulo máximo

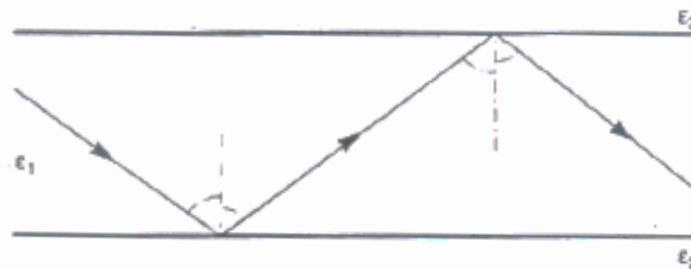


FIBRAS ÓPTICAS

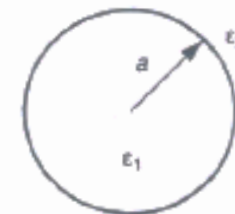
Propagação de ondas em guias dielétricos

Quando uma onda eletromagnética incide sobre um plano de separação entre dois dielétricos, para que haja propagação dessa onda, podemos impor uma série de condições de modo a haver reflexão total em duas superfícies (superior e inferior)

guia dielétrico



corte transversal



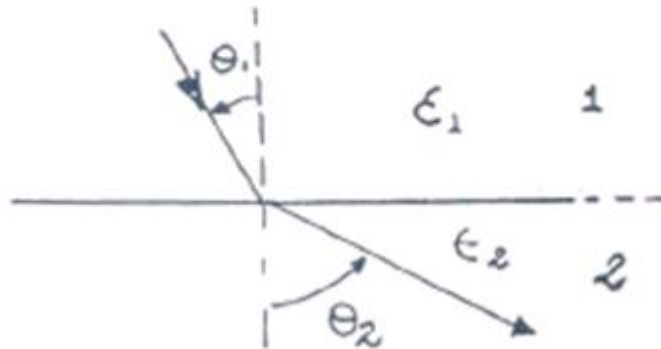
FIBRAS ÓPTICAS

Aplicaremos as Leis e condições vistas nos itens já apresentados.

Resumo para Reflexão Total

Supondo $n_1 > n_2 \therefore \sqrt{\epsilon_1} \cdot \sin \theta_1 = \sqrt{\epsilon_2} \cdot \sin \theta_2$

Teremos $\theta_2 > \theta_1$



A refração ocorre quando $\theta_1 < \theta_{1 \text{ critico}} = \theta_{lc}$

Limite para reflexão total $\theta_1 > \theta_{1L \text{ (critico)}} = \theta_c$

FIBRAS ÓPTICAS

$$\eta_1 \cdot \sin \theta_{il} = \eta_2 \cdot 1 \quad \therefore \quad \eta_1 \cdot \sin \theta_c = \eta_2$$
$$\sin \theta_c = \frac{\eta_2}{\eta_1}$$

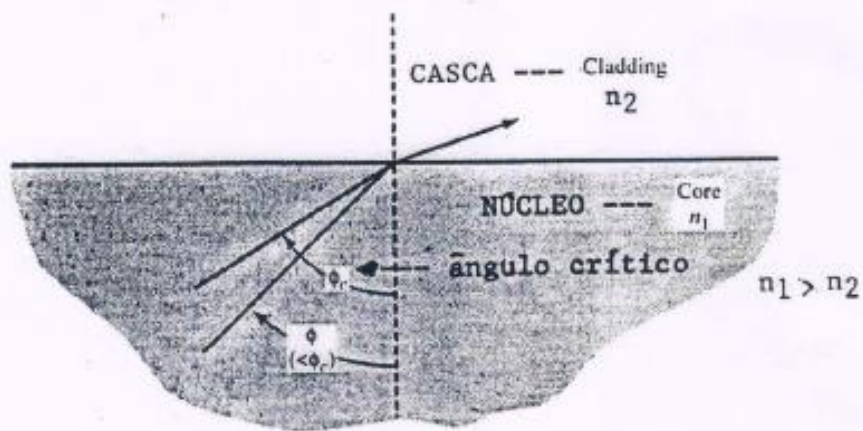
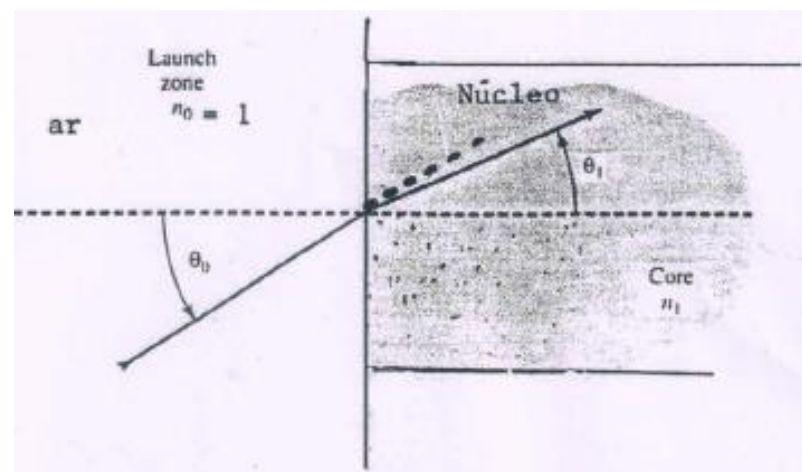
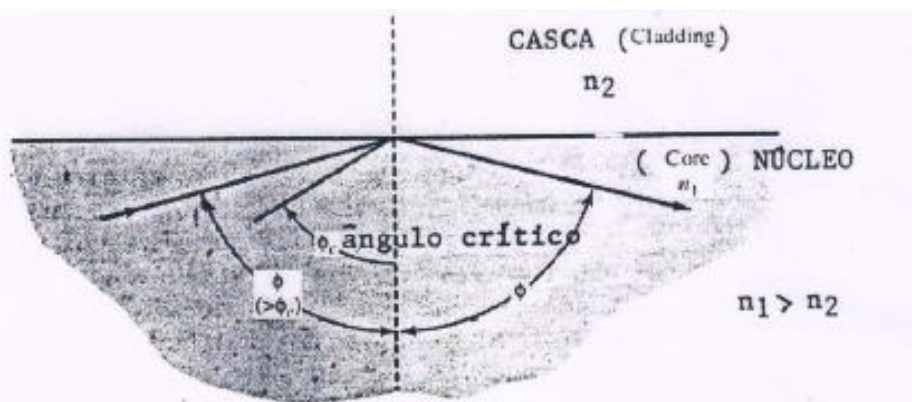
Mudemos a posição desta última figura, denominando:

meio 0 → AR $\therefore$ índice de refração = η_0

meio 1 → NÚCLEO $\therefore$ índice de refração = η_1

meio 2 → CASCA $\therefore$ índice de refração = η_2

FIBRAS ÓPTICAS



(b)

FIBRAS ÓPTICAS

A refração ocorre quando o ângulo de incidência θ_1 é menor do que o crítico θ_{1c} .

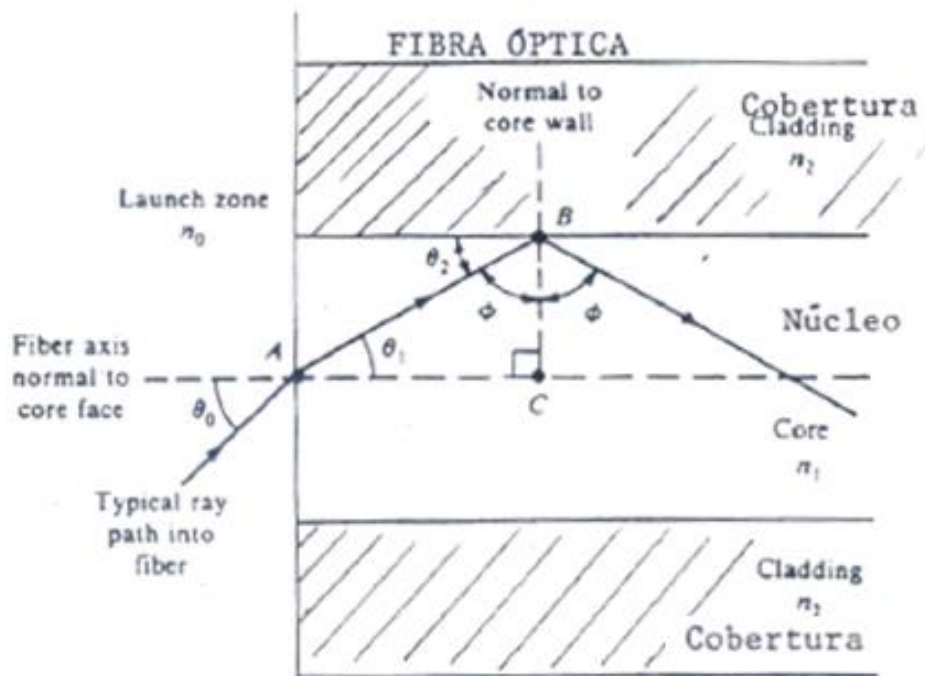
Na última parte da figura anterior, temos um sinal incidente (proveniente do ar - η_0) incidindo no núcleo (η_1).

Como $\eta_0 = 1$ e $\eta_1 > 1$

$$\eta_0 \cdot \sin \theta_0 = \eta_1 \cdot \sin \theta_1 \therefore \theta_1 < \theta_0$$

FIBRAS ÓPTICAS

Na próxima figura abaixo temos uma visão completa do percurso do raio incidente no ponto A. Haverá uma refração no meio 1 (núcleo). A seguir esse sinal percorre o meio 1 e incide na casca (meio 2) no ponto B, segundo um ângulo de incidência ϕ .



Nesse triângulo ABC as seguintes relações são válidas

$$\theta_1 = 90^\circ - \phi$$

$$n_0 \cdot \sin \theta_0 = n_1 \cdot \sin \theta_1$$

$$\sin \theta_0 = n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_1 \cdot \sin(90 - \phi)$$

$$\sin \theta_0 = n_1 \cdot \cos \phi \quad \therefore \quad \phi > \phi_c \text{ (critico)}$$

FIBRAS ÓPTICAS

Quando ϕ for crítico (para reflexão total) teremos:

$$\eta_1 \cdot \sin \theta_1 = \eta_2 \cdot \sin \theta_2 \quad \therefore \quad \theta_2 = \frac{\pi}{2} \quad \text{e} \quad \theta_1 = \theta_{1c}$$

$$NA = \sin \theta_{o(\text{máximo})} = \frac{\sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}}{\eta_o}$$

se a fibra estiver no ar $\eta_o = 1$

$$NA = \sin \theta_{o(\text{máximo})} = \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}$$

Muitas vezes é utilizada a diferença relativa entre os índices de refração Δ

$$\Delta = \frac{\eta_1 - \eta_2}{\eta_1}$$

FIBRAS ÓPTICAS

Na maior parte das fibras os índices de refração do núcleo (η_1) e da casca (η_2) são próximos

p. exemplo: fibra:vidro/vidro $\rightarrow \eta_1 = 1,55$ e $\eta_2 = 1,51$

$$\eta_1^2 - \eta_2^2 = (\eta_1 - \eta_2)(\eta_1 + \eta_2) \cong (\eta_1 - \eta_2)2\eta_1$$

$$\eta_1^2 - \eta_2^2 = 2\eta_1^2 \frac{(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1} = 2\eta_1^2 \Delta$$

$$\text{logo } NA = \sin \theta_{o(\text{máximo})} = \frac{\eta_1 \cdot \sqrt{2\Delta}}{\eta_o}$$

$$\text{No nosso exemplo } \Delta = \frac{1,55 - 1,51}{1,55} = 0,0258$$

$$NA = 0,352 \quad \therefore \quad \sin^{-1} NA = \sin^{-1} 0,352 \quad \therefore$$

$$\text{Finalmente } \theta_{o(\text{max})} = 20,6^\circ$$

FIBRAS ÓPTICAS

FIBRAS ÓPTICAS - MONOMODO

Diferença com a fibra multimodo = alta capacidade de transmissão
- dimensões menores

Devido as suas dimensões (núcleo) exigem técnicas de alta precisão para realização de conexões com emissores de luz e detectores. As fibras monomodo podem ser obtidas por:

- redução da diferença dos índices de refração
 $\Delta = n_1 - n_2$ ($\approx 0,3\%$)
 $\Delta = 0,003$

- redução do diâmetro do núcleo $D \approx 2a$

FIBRAS ÓPTICAS

$$V = \left(\frac{2\pi a}{\lambda} \right) n_1 \sqrt{2\Delta} = \frac{D \cdot \pi}{\lambda} \cdot n_1 \sqrt{2\Delta}$$

Exemplo - $\lambda = 1,30 \mu m$

$$n_1 = 1,46$$

$$\Delta = 0,003$$

$$V < 2,405$$

$$\frac{D \cdot \pi}{\lambda} n_1 \sqrt{2\Delta} < 2,405$$

$$D < \frac{2,4 \times 1,30}{\pi \cdot 1,46 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,003}} = 8 \mu m$$

FIBRAS ÓPTICAS

- aumento do comprimento de onda (λ) da luz no guia. Este número é escolhido $\lambda = 1,30 \mu\text{m}$ - $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$

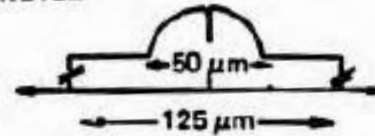
- " -

- Redução da diferença dos índices de refração
· muito limitada no processo de fabricação
· reduz a capacidade de captação de luz
(pequena abertura numérica)
- Redução do diâmetro do núcleo -
· variável para maior grau de liberdade
entretanto dificulta as conexões ópticas
- aumento do comprimento de onda λ

FIBRAS ÓPTICAS



**PERFIL
DE
ÍNDICE**



Atenuação (dB/km)

0.85 μm - 2.5

1.30 μm - 0.9

1.55 μm - 1.0

Largura de Banda (MHz . km)

0.85 μm - 400 - 1500

1.30 μm - 400 - 1500

Abertura Numérica

0.2

Revestimento Primário

Silicone ou acrílico

Comprimento

> 6 km

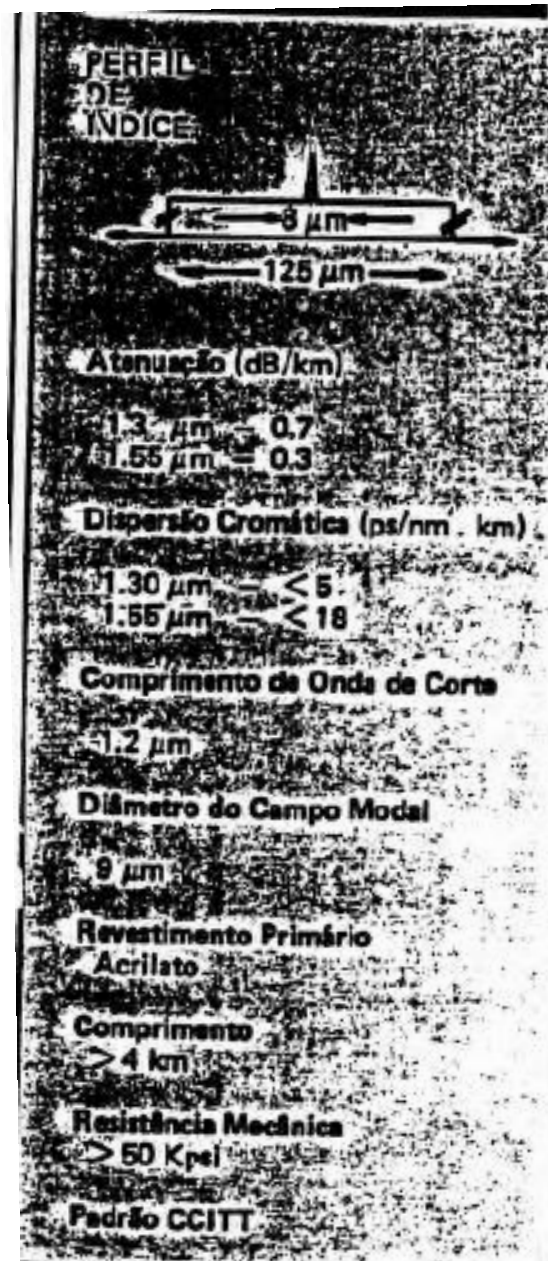
Resistência Mecânica

> 50 Kpsi

Padrão TCITT

Figura 4a

FIBRAS ÓPTICAS



FIBRAS ÓPTICAS

Tipos de dispersão na fibra óptica

1. *Dispersão modal*
2. *Dispersão cromática*
3. *Dispersão de guia de ondas*

1. Dispersão Modal

- Efeito ligado ao número de modos
- Cada modo de propagação tem uma velocidade efetiva, causando atrasos entre os diferentes modos
- É também denominada dispersão de multipercurso

FIBRAS ÓPTICAS

Tipos de dispersão na fibra óptica

2. Dispersão Cromática

FIBRAS ÓPTICAS