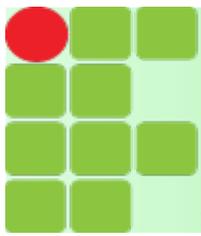


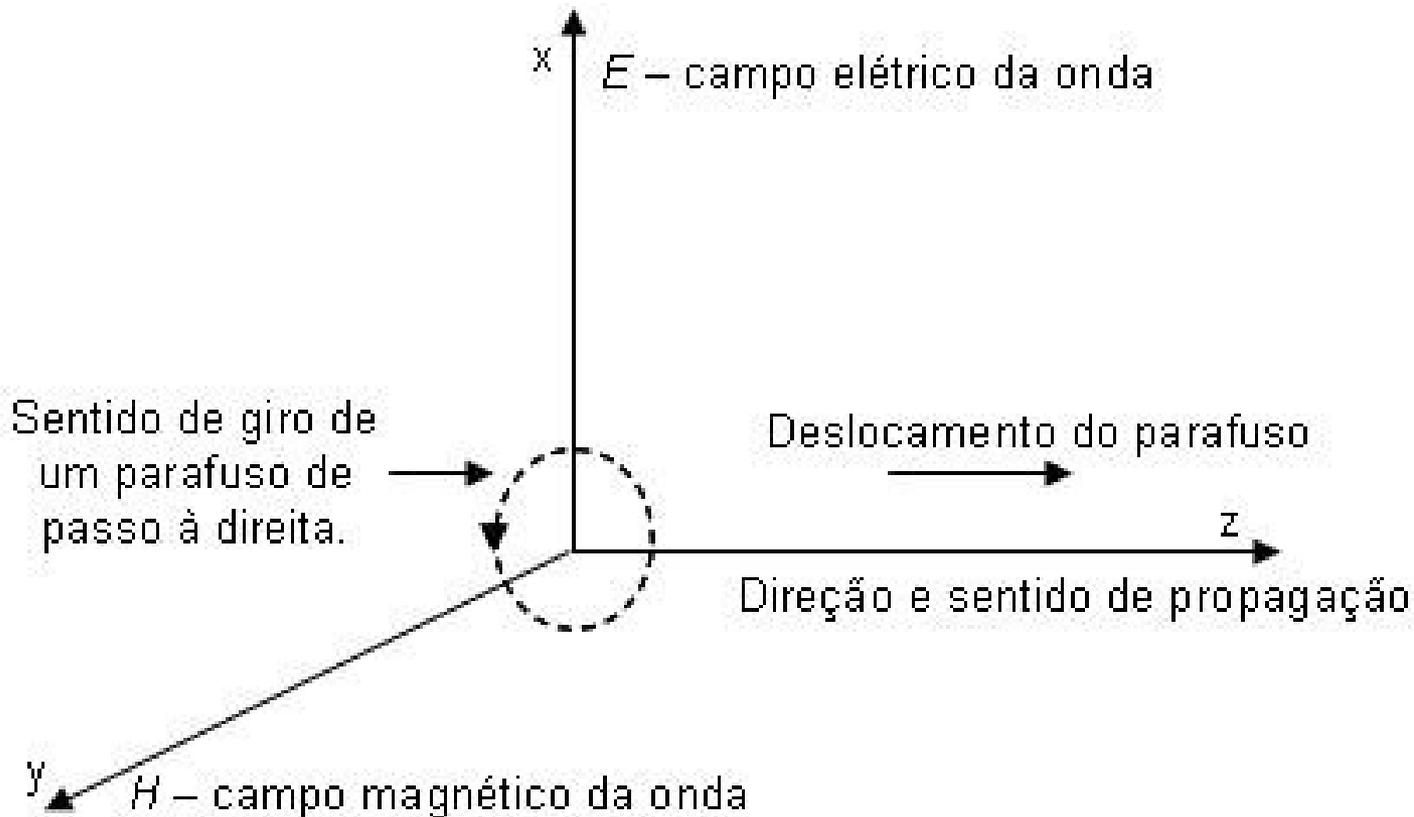
ONDA ELETROMAGNÉTICA

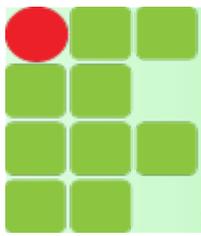
- Sempre que houver um campo magnético variando no tempo, surgirá um campo elétrico induzido, de acordo com a lei de Faraday.
- Simetricamente, quando em uma região existir um campo elétrico variando no tempo, surgirá um campo magnético induzido, indicando que, no caso dinâmico, os campos elétrico e magnético são grandezas indissociáveis, constituindo o chamado **campo eletromagnético**.
- Esta ideia foi proposta inicialmente por Maxwell em 1864, e comprovada pouco tempo depois. O resultado é uma sucessão de campos elétrico e magnético que se induzem mutuamente e se afastam da origem, constituindo uma onda eletromagnética.
- O seu deslocamento é conhecido como **propagação** e garante a transferência da energia eletromagnética de um ponto para outro ponto do meio.



ONDA ELETROMAGNÉTICA

- Orientações do campo eletromagnético:



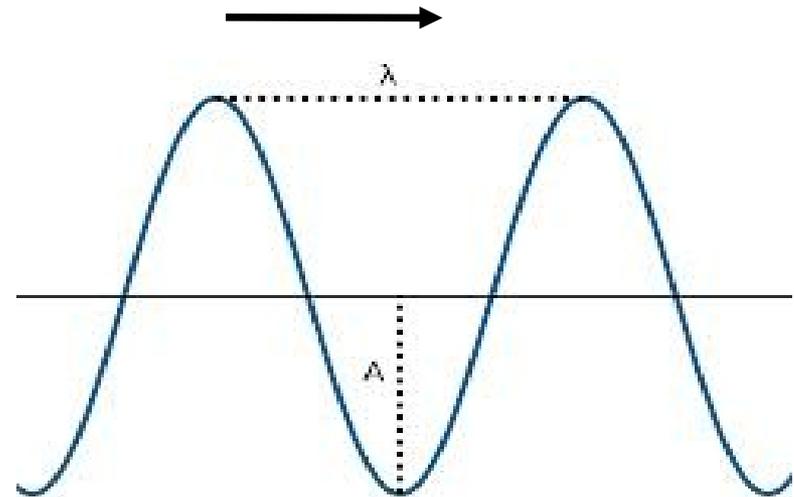
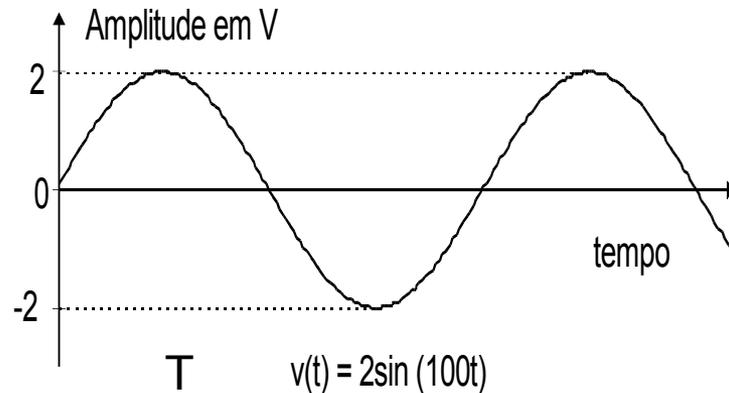


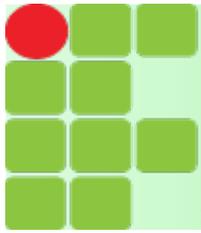
Conceitos Físicos Básicos

ONDA - um pulso energético que se propaga através do espaço ou através de um meio (líquido, sólido ou gasoso). A onda é originada numa perturbação do meio que resulta na propagação de energia sem propagação de matéria.

Parâmetros de uma onda:

$$\lambda = \frac{v_p}{f}$$





Conceitos Físicos Básicos

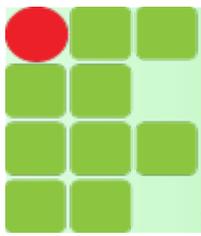
Parâmetros de uma onda:

- A** – Amplitude
- V_p** – Velocidade de propagação
- T** – Período
- F** – Frequência
- λ** – Comprimento de onda
- θ** – Fase

$$A = A_0 \times \text{sen}(2\pi f + \Theta)$$

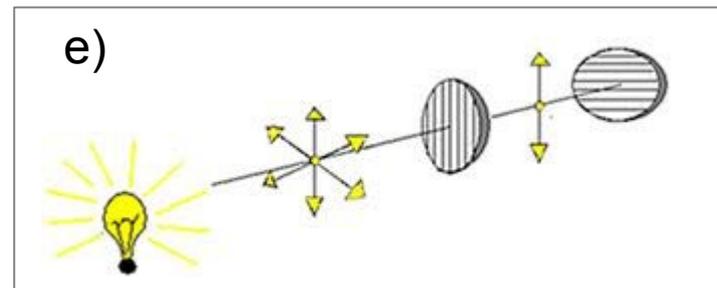
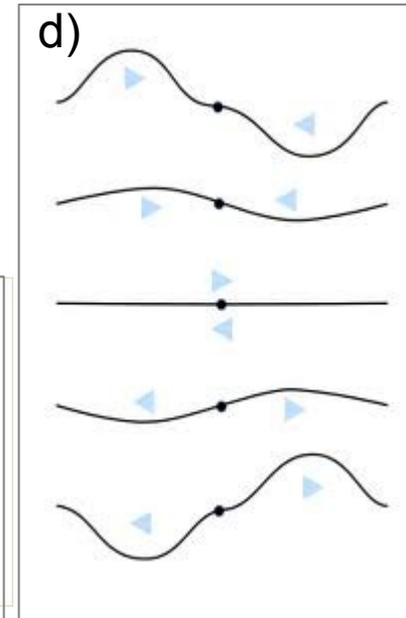
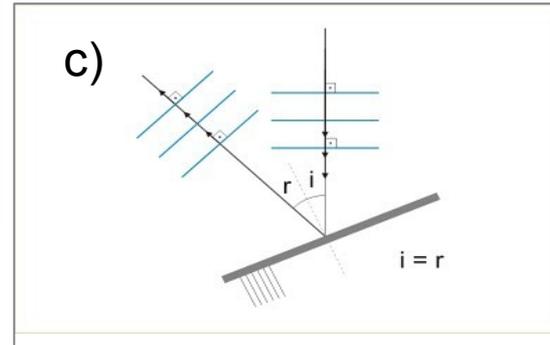
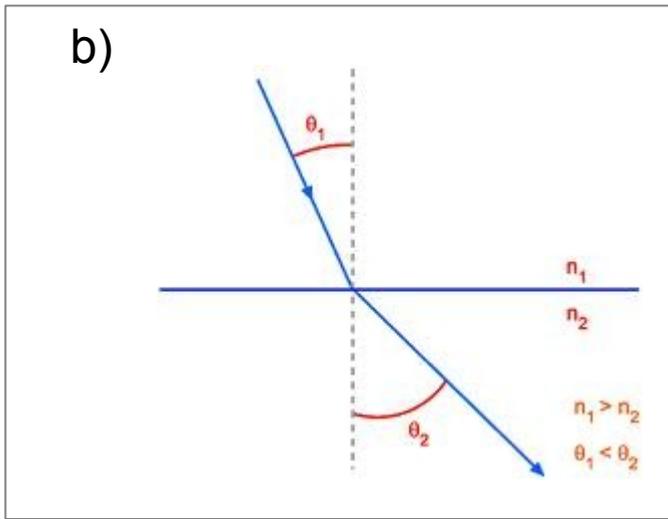
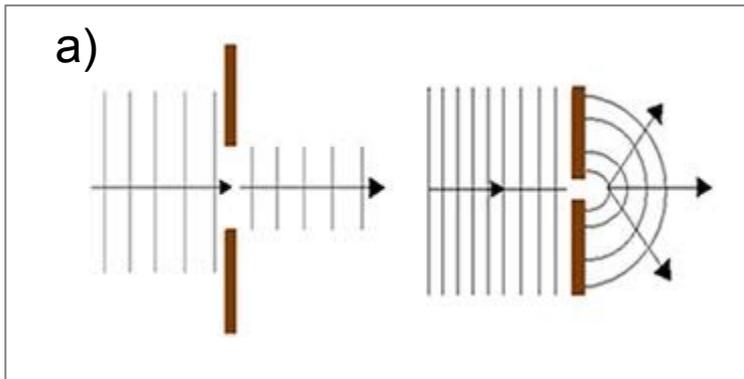
$$f = \frac{1}{T}$$

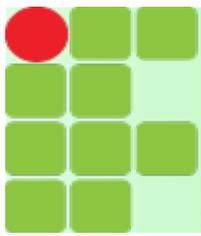
$$V_p = f \times \lambda$$



Conceitos Físicos Básicos

Fenômenos Ondulatórios: Polarização, Interferência, Difração, Refração, Reflexão





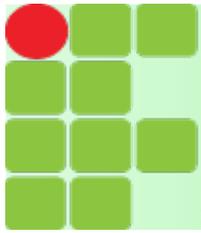
COMPRIMENTO DE ONDA

- Por definição, o comprimento de onda λ é a distância necessária para introduzir uma variação de fase de 2π radianos em uma onda senoidal propagando no meio especificado. Como o fator de fase β representa a modificação de fase por unidade de deslocamento, tem-se:

$$\beta\lambda = 2\pi \therefore \lambda = \frac{2\pi}{\beta}$$

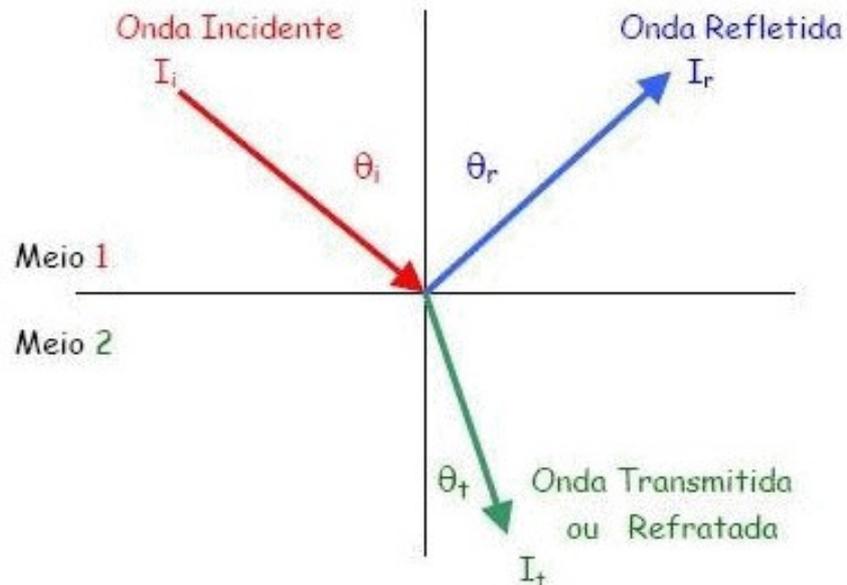
Multiplicando e dividindo a expressão anterior pela frequência f , aparecerá no numerador a frequência angular. A relação entre a frequência angular e o fator de fase é a velocidade de fase na direção de propagação V_p , assim pode-se redefinir o comprimento de onda como:

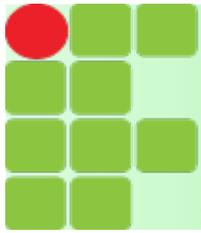
$$\lambda = \frac{V_p}{f}$$



REFLEXÃO E REFRAÇÃO

A onda eletromagnética ao incidir na fronteira entre dois meios pode ser subdividida em duas outras ondas. Parte da energia retorna ao primeiro meio, formando a onda refletida, e a outra parte é transferida ao segundo meio, constituindo a onda refratada.



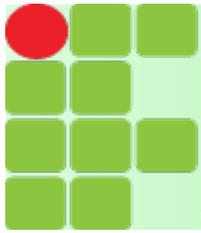


Leis da reflexão

primeira lei: diz que os vetores que representam as direções de propagação das ondas incidente e refletida estão contidos em um mesmo plano, denominado plano de incidência, normal ao plano de separação entre os dois meios.

segunda lei: estabelece que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência:

$$\theta_i = \theta_r$$



Lei de Snell

A lei de Snell (lei da refração): o ângulo que a onda refratada faz com a normal à superfície de separação está relacionado com o ângulo de incidência:

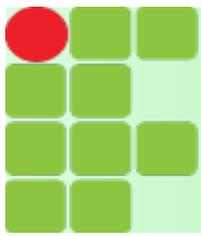
$$\frac{(\sin \theta_i)}{(\sin \theta_f)} = \frac{N_f}{N_i}$$

Onde: θ_i = ângulo de incidência da onda.

θ_f = ângulo de refração da onda

N_f = índice de refração do meio para qual a onda foi refratada.

N_i = índice de refração do meio que contem a fonte de luz



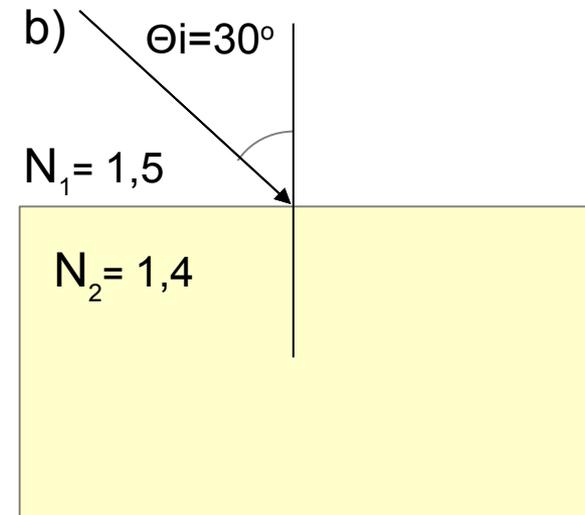
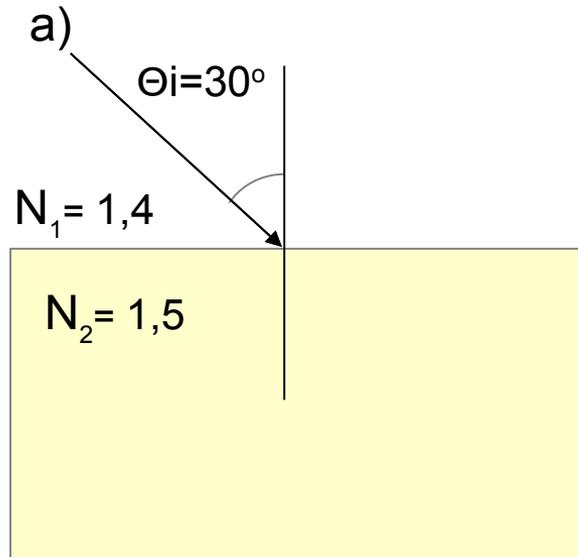
Lei de Snell

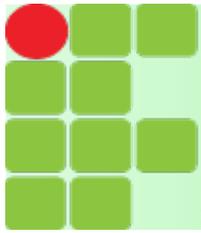
$$\frac{(\sin \theta_i)}{(\sin \theta_f)} = \frac{N_2}{N_1}$$

Índice de refração

$$N = \frac{C}{V_p}$$

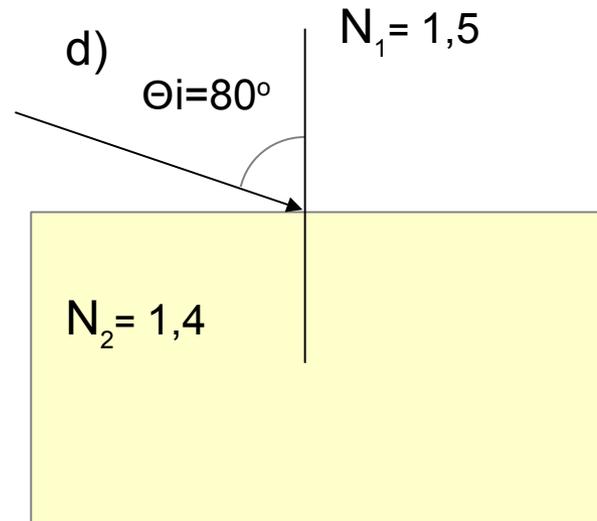
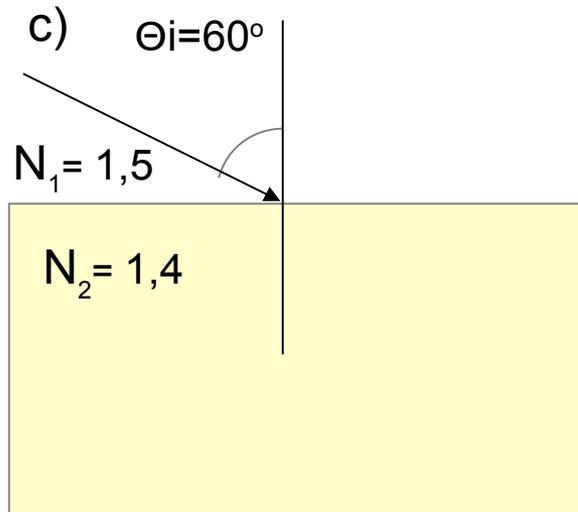
Ex: Determine o ângulo de refração nos casos abaixo.

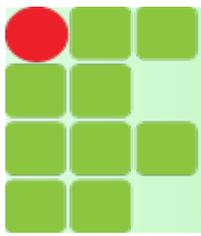




Conceitos Físicos Básicos

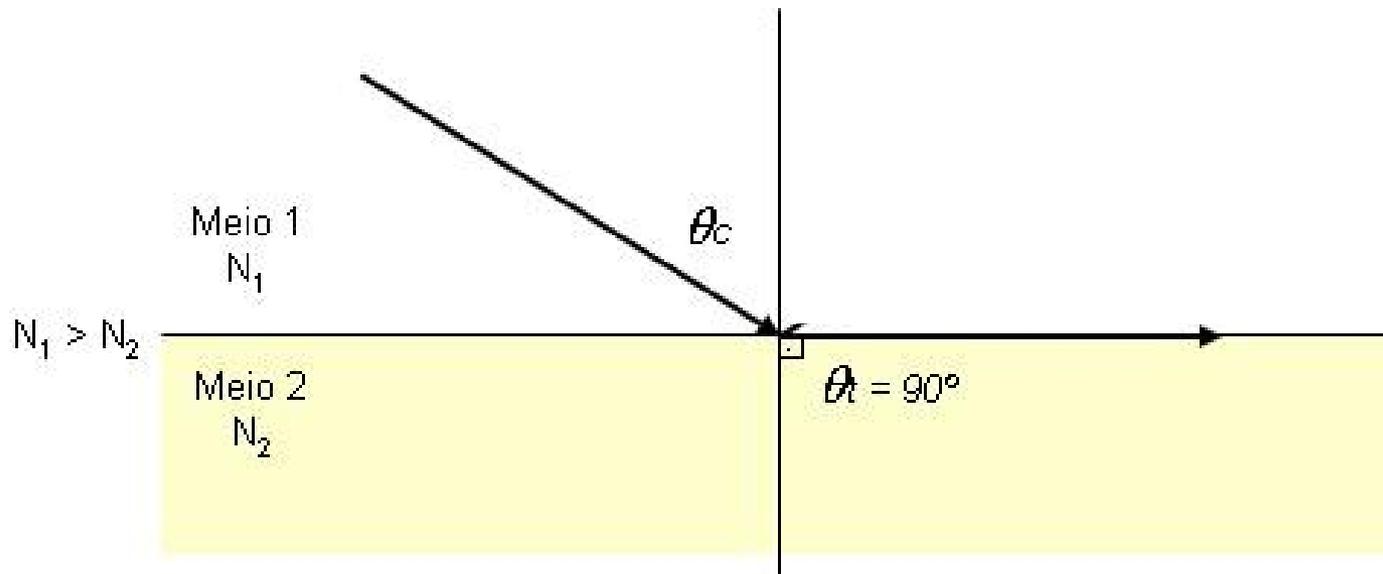
$$\frac{(\sin \theta_i)}{(\sin \theta_f)} = \frac{N_2}{N_1}$$

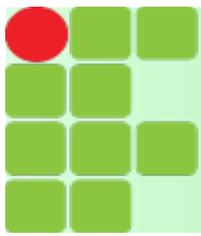




Reflexão Total

Ângulo crítico (θ_c) é o ângulo de incidência que resulta em um ângulo de refração de 90°

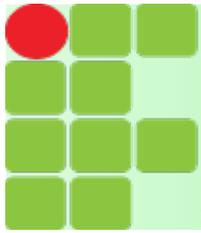




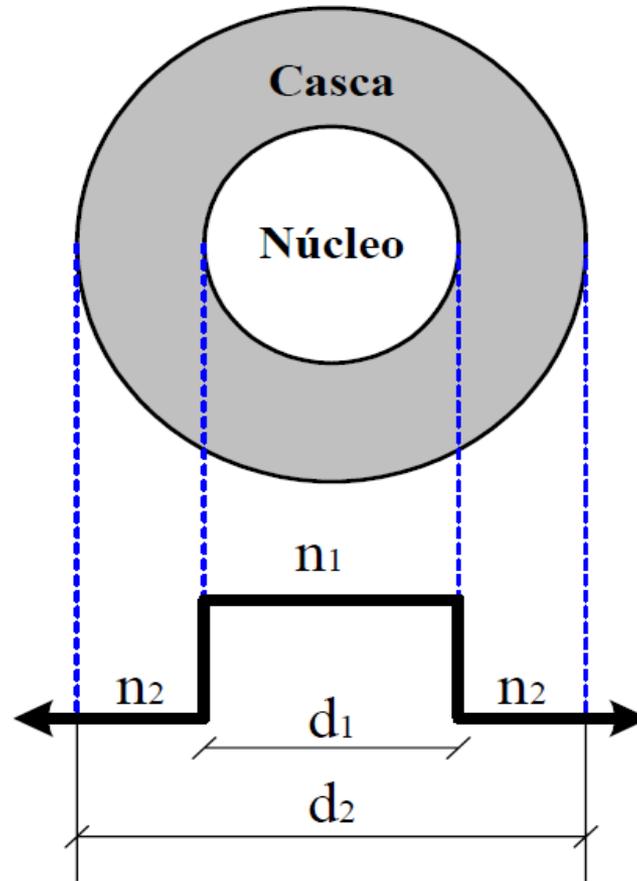
Reflexão Total

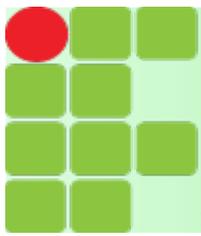
Para ocorrer a reflexão total duas condições devem ser satisfeitas:

- O raio incidente deve ir do meio de N maior para o meio de N menor ($n_i > n_f$) (isto é: a velocidade de propagação da onda no segundo meio deverá ser maior do que no primeiro);
- O ângulo de incidência deve ser maior que o ângulo crítico (θ_c).
- Outra observação importante, quando o raio incidente for perpendicular a superfície de separação dos meios, o mesmo não sofre mudança de direção.



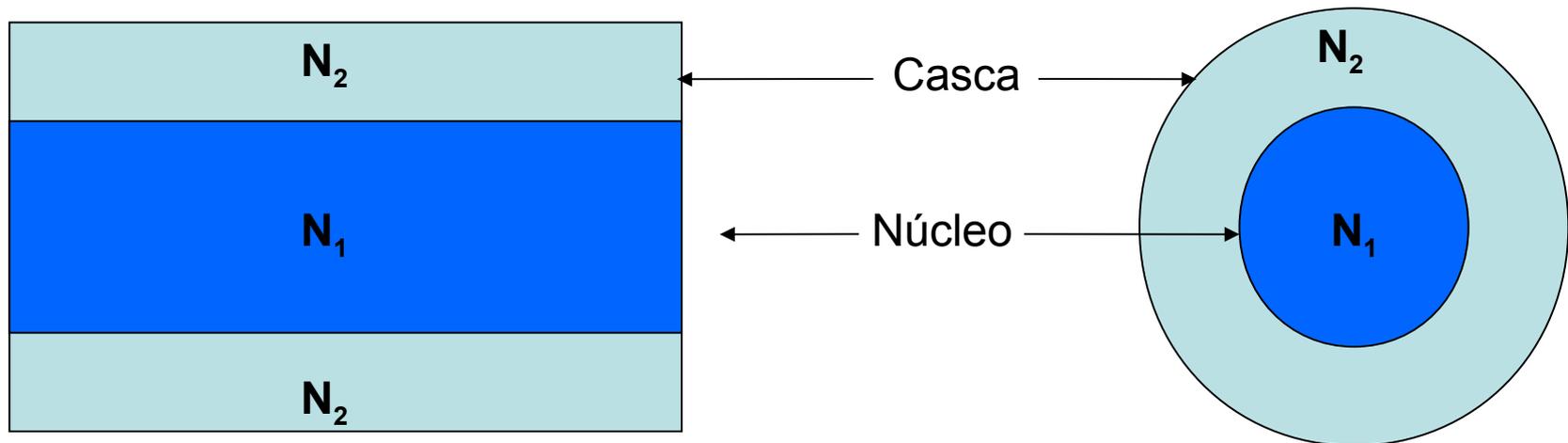
Estrutura básica da fibra

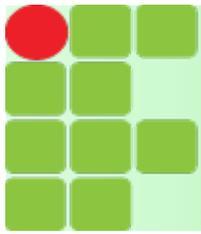




Estrutura básica da fibra óptica

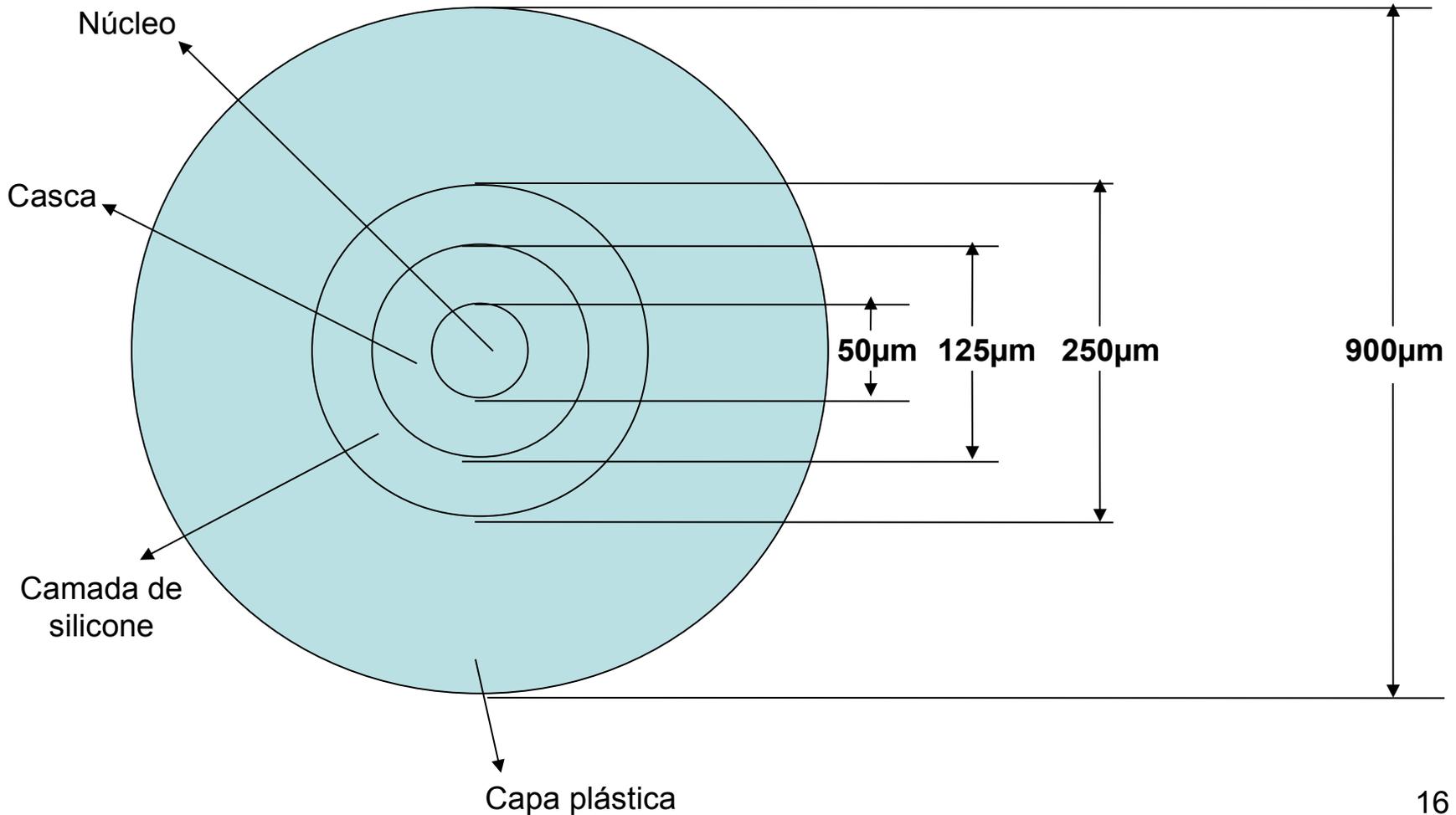
- A forma mais simples de uma fibra óptica é constituída de um **NÚCLEO**, com índice de refração N_1 , e uma **CASCA**, com índice de refração N_2 , sendo $N_1 > N_2$. Esta fibra é conhecida como **FIBRA DE ÍNDICE DEGRAU**.

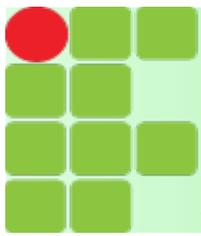




Estrutura básica da fibra óptica

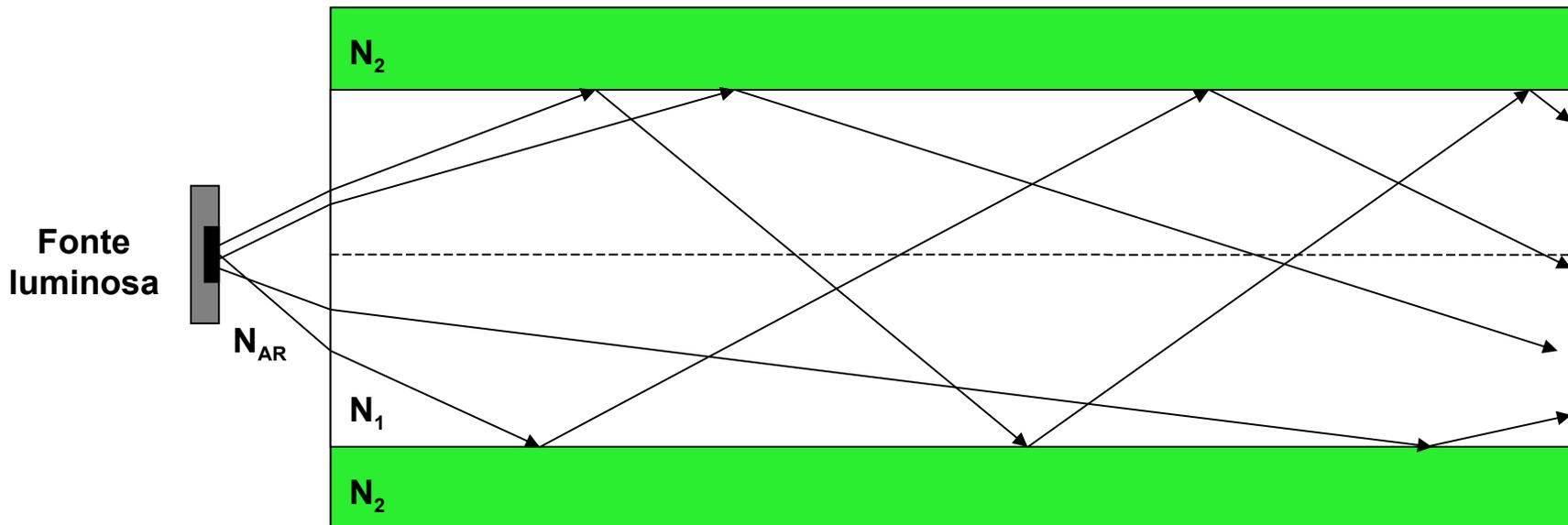
Fibra Multimodo

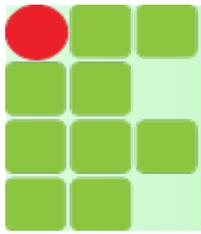




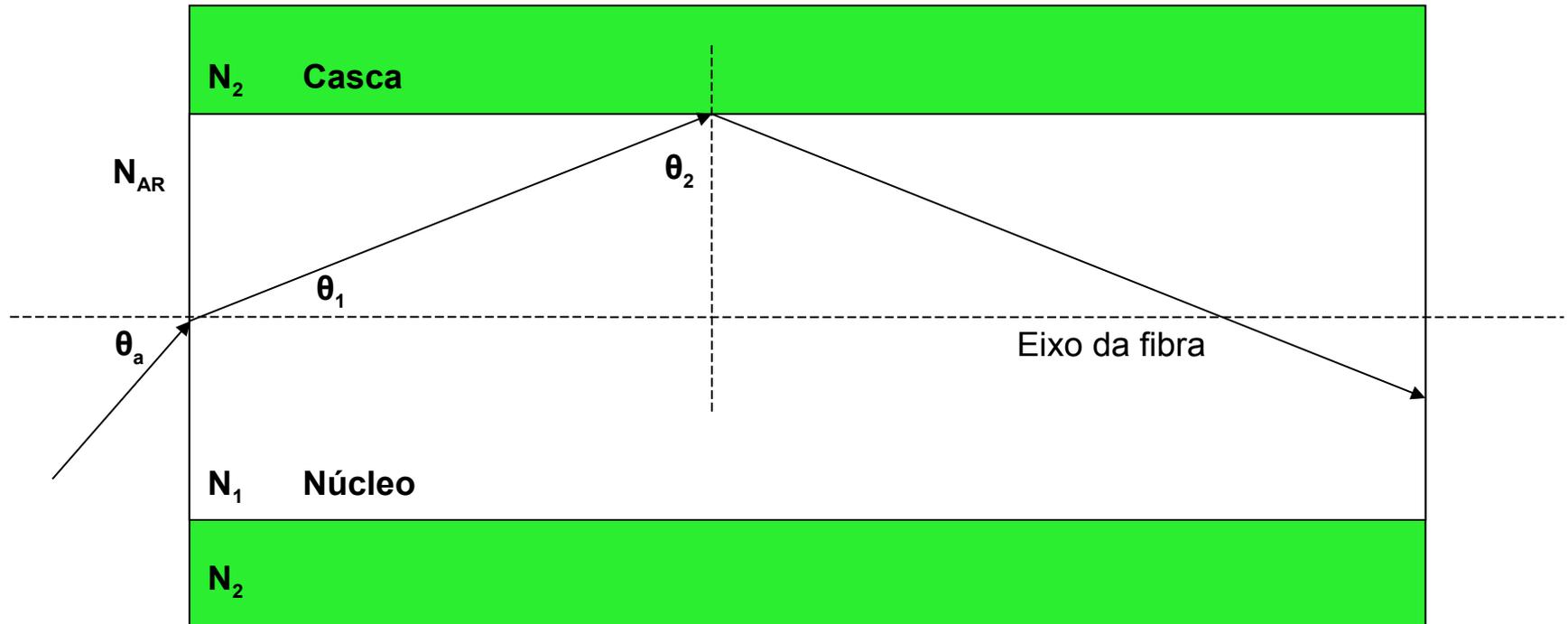
Estrutura básica da fibra óptica

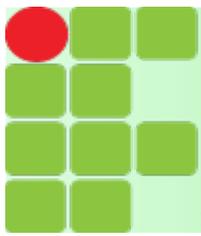
- Haverá reflexão total na fronteira de separação entre os dois meios dielétricos perfeitos quando o ângulo de incidência for maior ou igual ao valor crítico. E quando o índice de refração do meio de onde a onda está vindo (N_1) for maior do que o meio para onde a onda estaria indo (N_2).





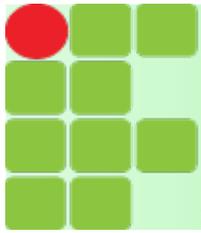
ABERTURA NUMÉRICA





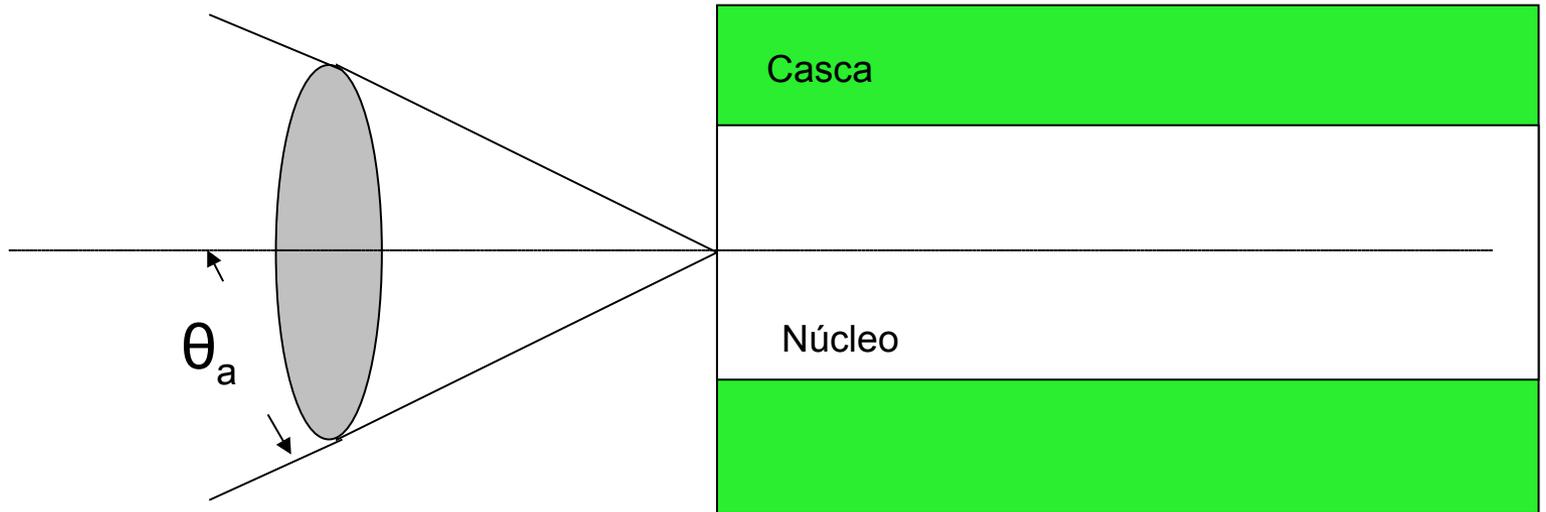
ABERTURA NUMÉRICA

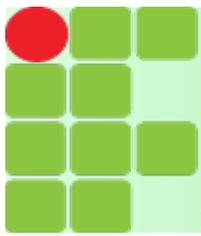
- O feixe luminoso partindo da fonte luminosa penetra no núcleo com um ângulo θ_a em relação ao seu eixo longitudinal (normal de separação entre o núcleo e meio externo). Por causa da diferença entre os índices de refração do núcleo e do ar ocorre propagação para dentro do núcleo, com o ângulo θ_1 .
- Se o ângulo de incidência na fronteira entre o núcleo e a casca for menor que o valor crítico, o feixe não será completamente refletido, tendo parte da sua energia transferida para a casca. Isto representa uma perda de potência, pois não se aproveita a luz que percorre a casca.
- Existe um valor máximo do ângulo θ_2 que permite a propagação da energia luminosa ao longo do núcleo sem que haja perda de energia para a casca.
- O ângulo máximo incidente no núcleo da fibra θ_a , é chamado de **ABERTURA NUMÉRICA** da fibra.



ABERTURA NUMÉRICA

- Cone de aceitação:





ABERTURA NUMÉRICA

- Abertura Numérica equivale ao seno do ângulo máxima permitido entre o raio de incidência e a reta normal a superfície da fibra:

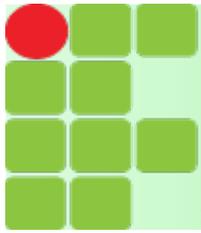
$$AN = \text{sen}(\theta_a)$$

Podemos relacionar a AN aos valores de índice de refração do núcleo N_1 e da casa N_2 .

Como o ângulo θ_1 é complementar ao ângulo de incidência θ_2 , $\text{sen } \theta_2 = \cos \theta_1$ e na condição em que θ_2 é igual ao angulo crítico, $\cos \theta_1 = N_2/N_1$.

Logo, de $\cos^2 \theta + \text{sen}^2 \theta = 1$ vem:

$$\text{sen}(\theta_1) = \sqrt{1 - \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2}$$



ABERTURA NUMÉRICA

$$\frac{\text{sen}(\theta_{a \max})}{\sqrt{1 - \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2}} = N_1$$

$$\text{sen}(\theta_{a \max}) = N_1 \left[\sqrt{1 - \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2} \right] = \sqrt{N_1^2 - N_2^2}$$

- Abertura Numérica: $AN = \text{sen}(\theta_{a \max}) = \sqrt{N_1^2 - N_2^2}$