



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE CIRCUITOS FOTÔNICOS EM SILÍCIO

**Professor:** Adolfo Herbster

**Aluno:** Caio Rodrigues Correia de Oliveira

Laboratório 04: Guia tipo *ridge* – propriedades dos modos

22 de fevereiro de 2022

Campina grande, PB



## Pasta do experimento:

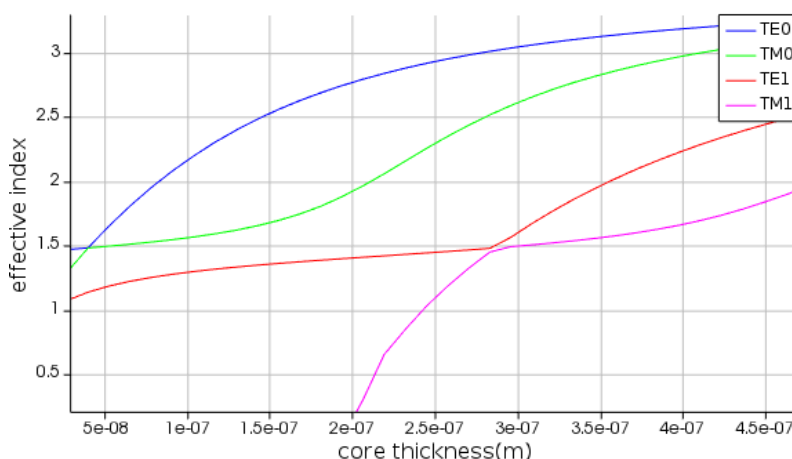
[TEEE-2021.1/Subject Exercises/Laboratório/Lab04 \(Github.com\)](https://github.com/TEEE-2021.1/Subject-Exercises/Laboratório/Lab04)

### Atividade 4

- a) Considere o guia ilustrado na Fig. 01. A altura e a largura do guia óptico central (silício) é 220 e 500 nm respectivamente. Procura-se verificar a validade dessas dimensões do guia óptico.

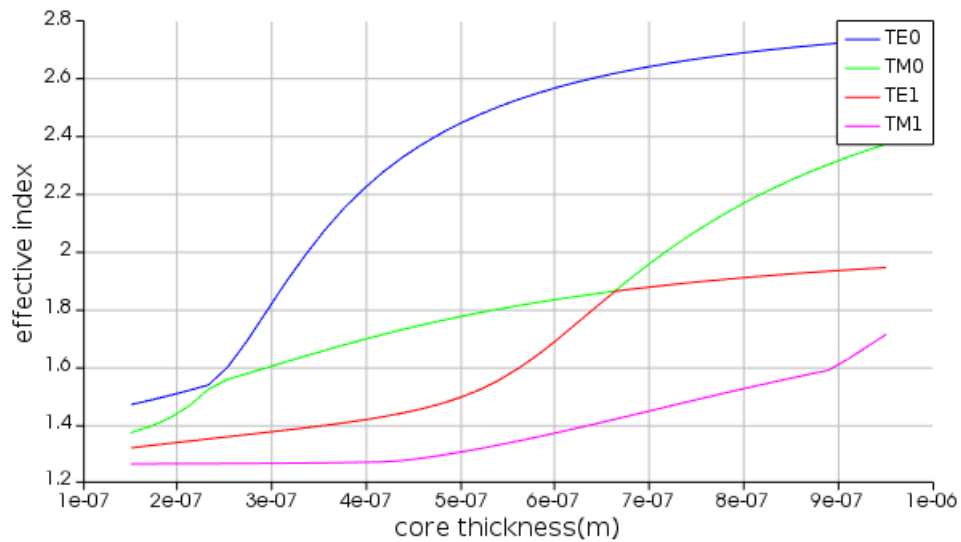


- i) Considere, inicialmente, um problema 1D (já resolvido em laboratórios anteriores), em que o guia resultante é simétrico formado por SiO<sub>2</sub> - Si - SiO<sub>2</sub> (utilize os materiais já definidos no Lumerical Mode), cujo comprimento de onda do sinal é 1550 nm. Determine o índice efetivo (apenas dos modos TE<sub>0</sub>, TM<sub>0</sub>, TE<sub>1</sub> e TM<sub>1</sub>) em função da altura do guia óptico, por exemplo, variando entre 0 e 500 nm. De acordo com o seu gráfico, por qual motivo o guia deve apresentar uma altura de 220 nm?



A escolha de 220nm reflete no guiamento somente dos dois primeiros modos (TE<sub>0</sub> e TM<sub>0</sub>) com o objetivo de ter um alto confinamento em todos os modos guiados (próximo da altura de corte para os modos subsequentes), o que não poderia ser feito até a altura 500nm para os modos TE<sub>1</sub> e TM<sub>1</sub>.

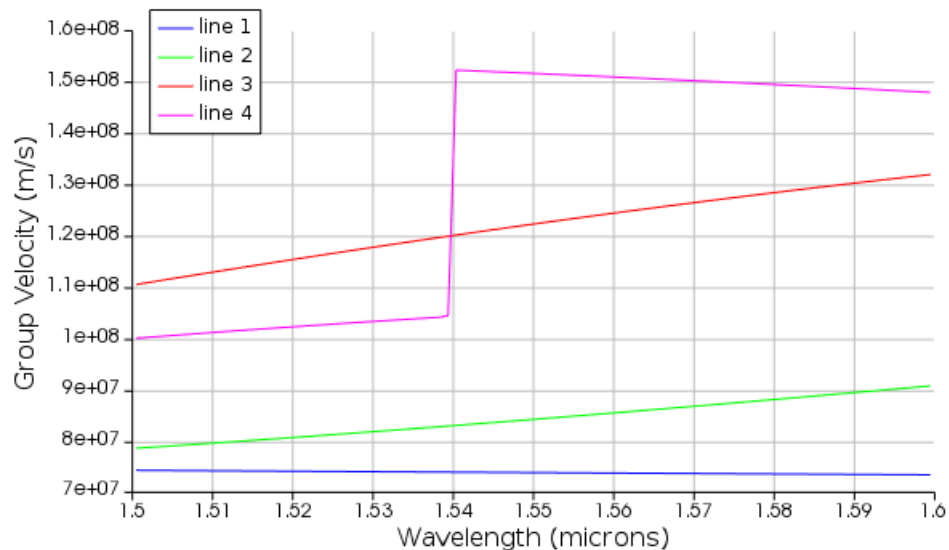
- ii) Considere agora um problema 2D, cujo guia é ilustrado na Fig. 01. Determine o índice efetivo (apenas dos modos TE0, TM0, TE1 e TM1) em função da largura do guia óptico, por exemplo, variando entre 150 e 950 nm. O que acontece com os modos propagantes à medida que a largura do guia é reduzida? De acordo com o seu gráfico, por qual motivo o guia deve apresentar uma largura de 500 nm?

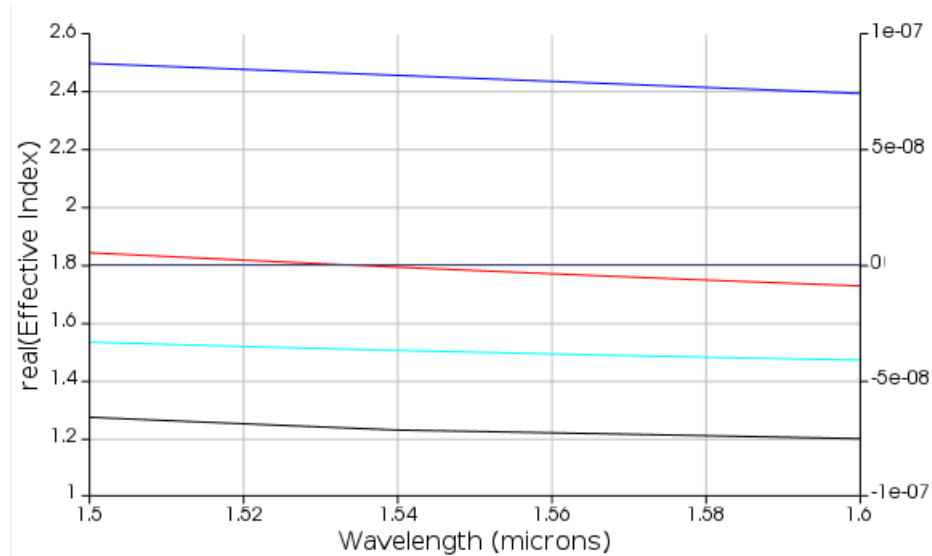


A escolha de 500nm reflete no mesmo princípio da análise anterior. Nesse caso, os modos TE0 e TM0 estão bem confinados nessa largura ao mesmo tempo que os modos TE1 e TM1 possuem baixíssimo confinamento, e no caso de TM1, não é propagado.

- iii) Com as dimensões do guia (220 x 500 nm), determine o índice de refração e o índice de grupo em função do comprimento de onda (1500 a 1600 nm). Lembre-se que o índice de grupo é definido como

$$n_g = n_{eff} - \frac{dn_{eff}}{d\lambda} \lambda_0$$





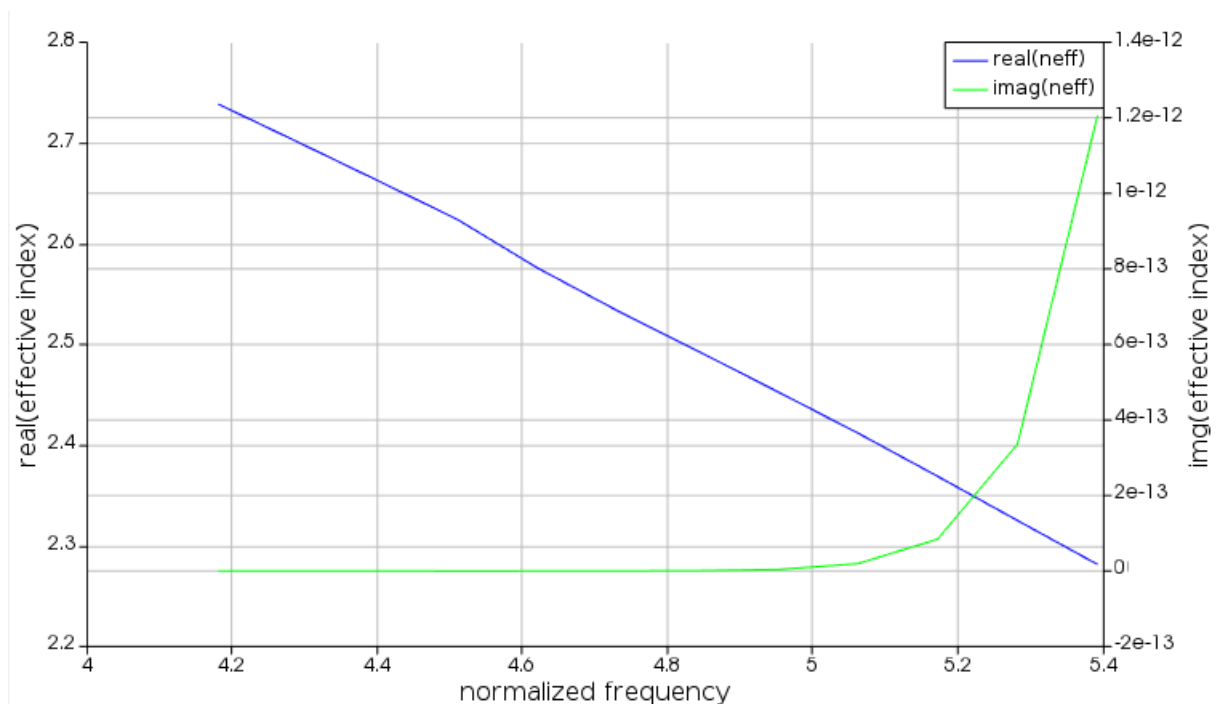
## Atividade 4a

a) Considere um guia tipo *ridge*, cujo material do guia e do substrato são, respectivamente, Si e SiO<sub>2</sub>. A largura do guia de Si é 500 nm, enquanto sua altura é igual a 220 nm. O comprimento do guia (antes da curvatura) é igual a 5  $\mu$ m. A seção transversal do guia é considerada no plano XZ com condições de casamento perfeito nas fronteiras (PML - *perfect matched layer*). Considere ainda o comprimento de onda igual a 1550 nm.

i. Ilustre a curva característica deste guia ( $V$  versus  $n_{\text{eff}}$ ).

Considerando  $V$  variando em função somente do comprimento de onda na faixa de 1260 a 1625 nm, tem-se:

$$4,1803 \leq V \leq 5,3913$$



ii. **Determine a frequência máxima de operação monomodo.**

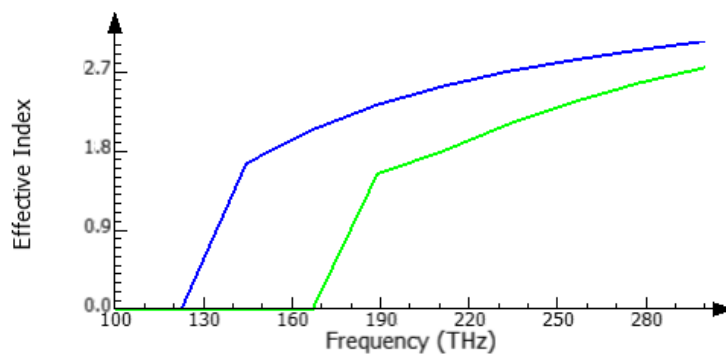
Utilizando a expressão a seguir com base no método de Marcantili:

$$f_c^m = \frac{m\pi + \arctan(p_c \sqrt{\delta})}{4\pi \frac{a}{c_0} \sqrt{n_f^2 - n_s^2}}$$

Tem-se que os modos de menor ordem são do tipo  $E_{n1}^x$  e  $E_{n1}^y$ , pois para a componente slab vertical, trata-se de um slab simétrico (logo frequência de corte igual a zero). Assim:

$$F_c^x = 118.435 \text{ THz}$$

$$F_c^y = 161.712 \text{ THz}$$



*Frequência x Neff para os primeiros modos  $E_{11}^x$  e  $E_{11}^y$*

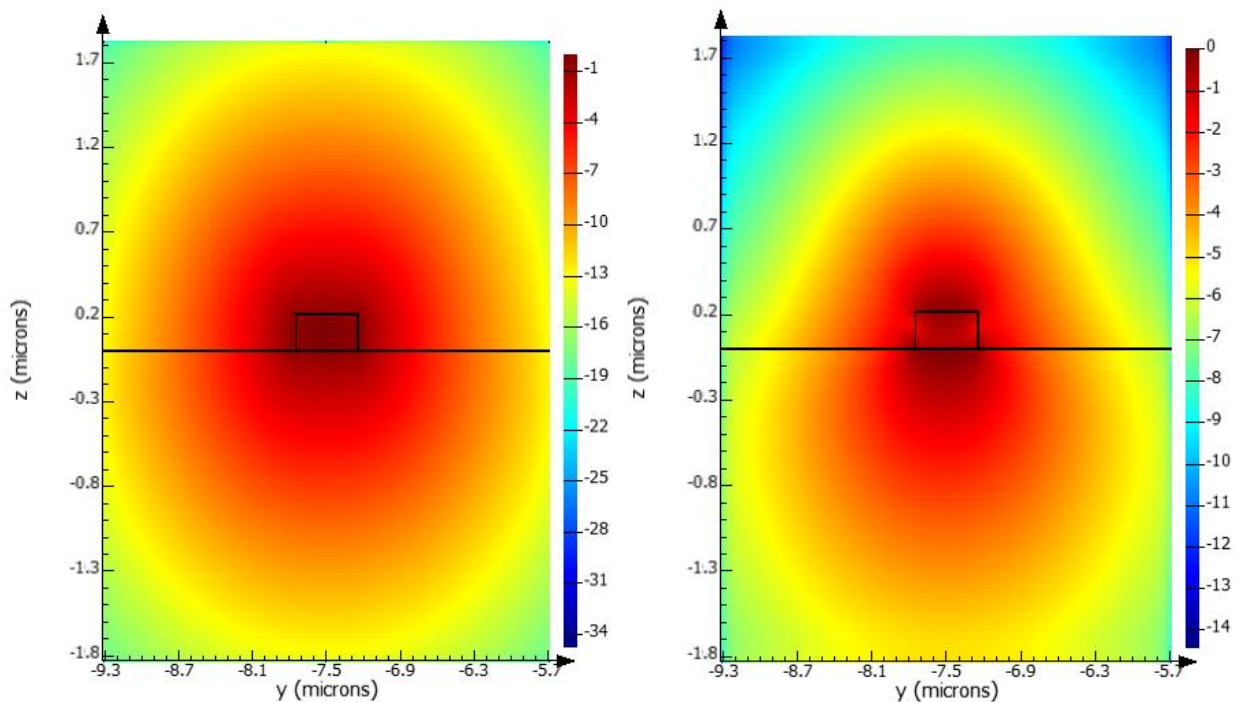
Assim, temos que 189.712 THz é a frequência máxima para a operação monomodo.

iii. **Em 1550 nm, determine o coeficiente de perda.**

Para os modos  $E_{11}^x$  e  $E_{11}^y$ , tem-se que:

$$E_{11}^x \rightarrow 3.5586 \cdot 10^{-9} \text{ dB/cm}$$

$$E_{11}^y \rightarrow 0.9349 \text{ dB/cm}$$



*Spectrograma logarítmico das intensidades de campo dos modos  $E_{11}^x$  e  $E_{11}^y$*

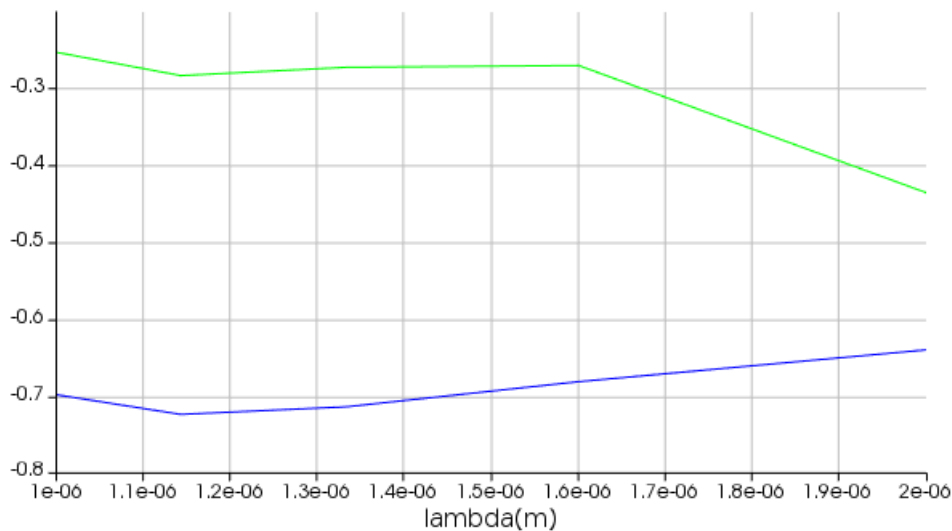
b) Considere que o ângulo de curvatura do guia seja igual a 2,5 um. Neste caso, determine a perda total do guia utilizando o *eigenmode solver*. Em seguida, determine a perda total do guia utilizando o *varFDTD solver*.

Utilizando o eigenmode solver, executou-se a análise dos espectogramas gerados pelo guia em suas partes retas e curvadas, para atribuir o seu overlap na expressão de perda total abaixo:

$$Loss = -2_{Interfaces} \times 10 \log_{10}(overlap) + (2.5um \times \frac{\pi}{2})(perda da parcela curvada)$$

Assim resultando em 0.0188733 dB.

Utilizando o varFDTD, obtém-se a seguinte relação entre input(azul) e output(output) do guia curvado em decibéis



resultando em uma diferença média de 0.3882714 dB, na qual se traduz como a perda total

c) A seguir, determine o deslocamento da curvatura para maximizar o acoplamento entre o guia linear e a guia em 90°. Qual o novo valor da perda total do guia?

Utilizando a análise de aproximação de overlap, conclui-se que um deslocamento de 0.0073756 μm no eixo y é suficiente para promover um novo overlap de 0.999115 (99.91%), superior ao antecessor 0.99783 (99.78%).

