



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 03: Guia slabs multicamadas

3 de março de 2022

Campina grande, PB



Pasta do experimento:

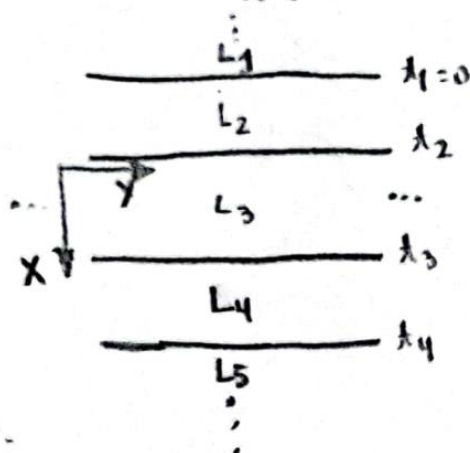
[IEEE-2021.1/Subject Exercises/Laboratório/Lab03 \(Github.com\)](https://github.com/IEEE-2021.1/Subject-Exercises/Laboratório/Lab03)

Preparação

- a) Considerando o trabalho <https://ieeexplore.ieee.org/document/53377/>, determine a matrix de transformação para os modos TM.

A princípio, para modos TM, a seguinte equação define a propagação dos mesmos para o guia multilado em tese:

$$E_x(x, z, t) = E_x(x) \cdot e^{i\omega t - \beta z}$$



Como o coeficiente de atenuação possui as mesmas variáveis para modos TM em relação aos modos TE, a assunção abaixo é verdadeira:

$$E_{x,j}(x) = A_j e^{\alpha_j(x-x_j)} + B_j e^{-\alpha_j(x-x_j)}$$

onde $\alpha_j = \sqrt{\beta^2 - k_0^2 n_j^2}$ e t_j uma variável de posição

Utilizando as condições de fronteira para E_x , conclui-se que

$$E_{x,j+1} = \frac{\epsilon_j}{\epsilon_{j+1}} E_{x,j} \Rightarrow \frac{\partial}{\partial x} E_{x,j+1} = \frac{\epsilon_j}{\epsilon_{j+1}} \left(\frac{\partial}{\partial x} E_{x,j} \right) \text{ considerando}$$

fronteiras eletricamente neutras, ϵ_j a permissividade elétrica do meio j e os domínios de $E_{x,j+1}$ e $E_{x,j}$ dados na fronteira somente. Assim, juntando todas as informações:

$$\begin{bmatrix} A_{j+1} \\ B_{j+1} \end{bmatrix} = \frac{\epsilon_j}{2\epsilon_{j+1}} \underbrace{\begin{bmatrix} \left(1 + \frac{\alpha_j}{\alpha_{j+1}}\right) e^{\delta_j} & \left(1 - \frac{\alpha_j}{\alpha_{j+1}}\right) e^{-\delta_j} \\ \left(1 - \frac{\alpha_j}{\alpha_{j+1}}\right) e^{\delta_j} & \left(1 + \frac{\alpha_j}{\alpha_{j+1}}\right) e^{-\delta_j} \end{bmatrix}}_{T_j} \begin{bmatrix} A_j \\ B_j \end{bmatrix}$$

onde $\delta_j = \alpha_j (t_{j+1} - t_j)$

b) Apresente a equação característica para os modos TM (semelhante à Eq. 19).

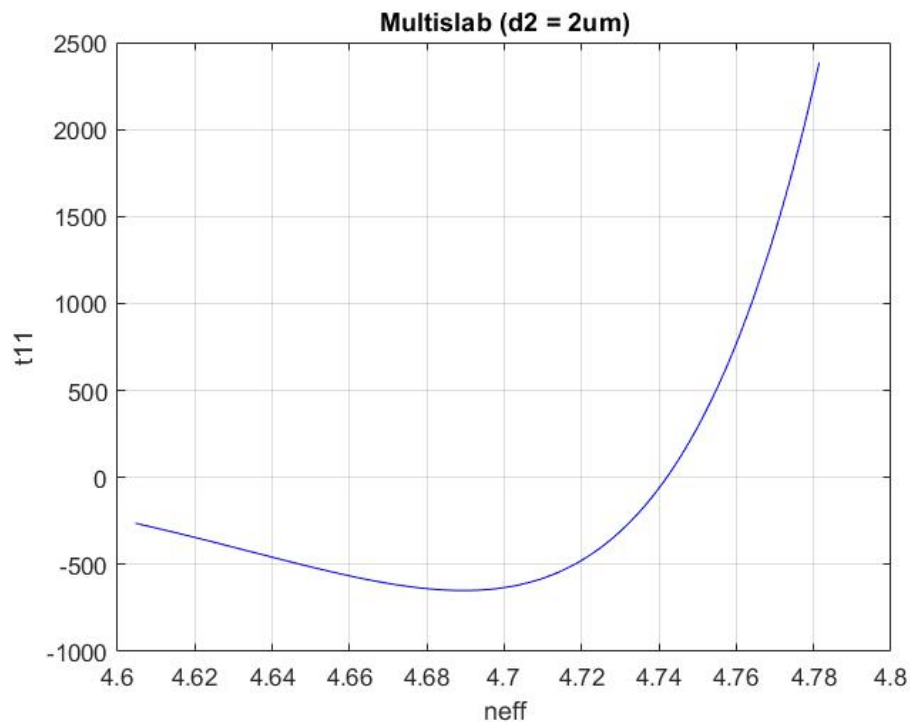
Como obtém-se a matriz de transformação para os modos TM, conclui-se que a propriedade a seguir ainda é verdadeira:

$t_{11}(\beta) = 0$, onde t_{11} é o elemento (1,1) da matriz de transformação entre os camadas extremas.

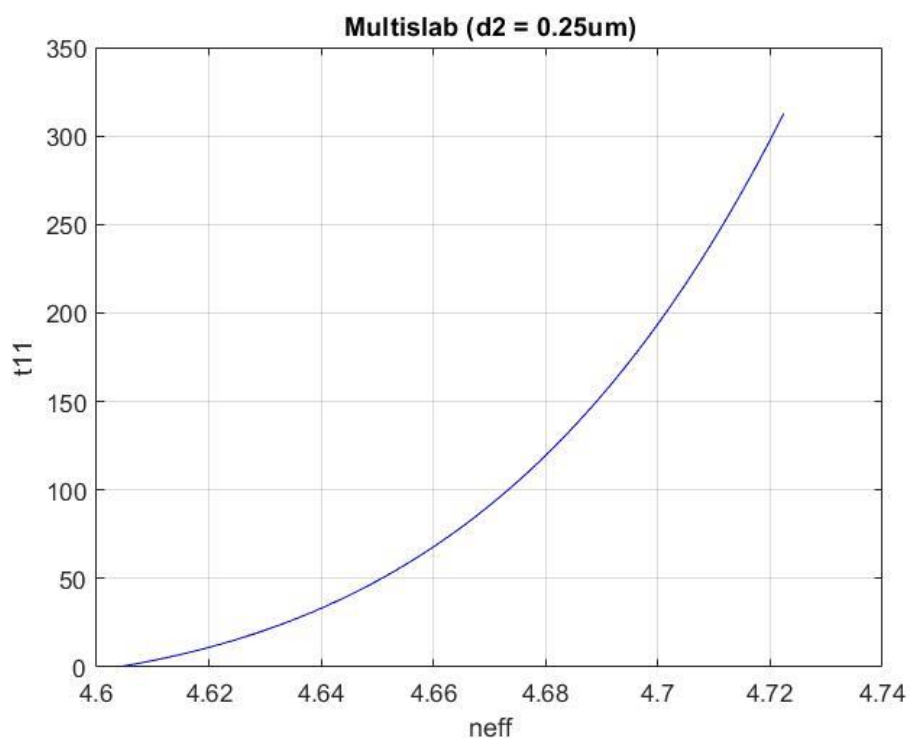
Atividade

a. MatLab

- i. Reproduza os resultados apresentados em <https://ieeexplore.ieee.org/document/53377/>; Utilizando o Matlab, atribuindo os parâmetros da primeira configuração multislabs, obteve-se o seguinte gráfico



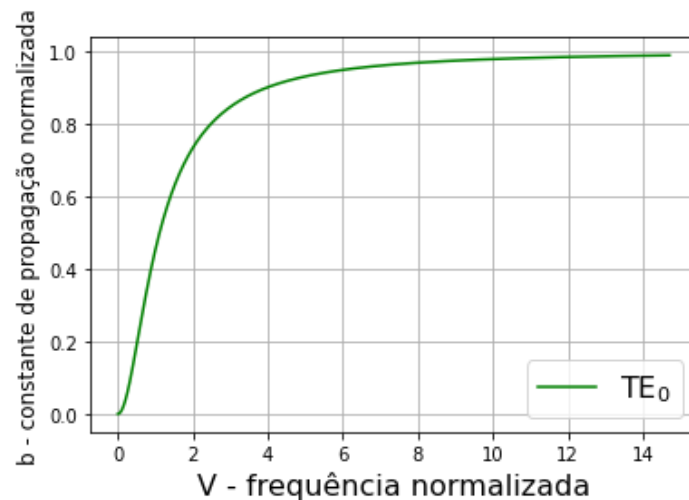
Conclui-se a partir da análise gráfica que o n_{eff} se aproxima de 4.75, como mencionado na publicação.



O mesmo pode se inferir para o caso da camada d_2 sendo $0,25\mu m$, na qual seu n_{eff} se aproxima de 4.61.

- ii. É possível obter uma curva característica da constante de propagação normalizada em função da frequência normalizada? Caso afirmativo, apresente estas curvas. Caso negativo, justifique.

Como ambas normalizações dependem de dois índices limites, escolheriam-se aqueles que trariam potencialmente uma propagação acentuada na camada ativa, analisando-se com os índices $n_1 = 5.2$ e n_2 um equivalente aos índices superiores ou inferiores à camada ativa. Como a solução é formada em função de α_j que é função de β e n_j , é viável realizar uma análise similar à normalização para slabs simétricos com $n_f = 5.2$ e $n_s \approx 4.6$ considerando o caso em que $d_2 = 2\mu\text{m}$:

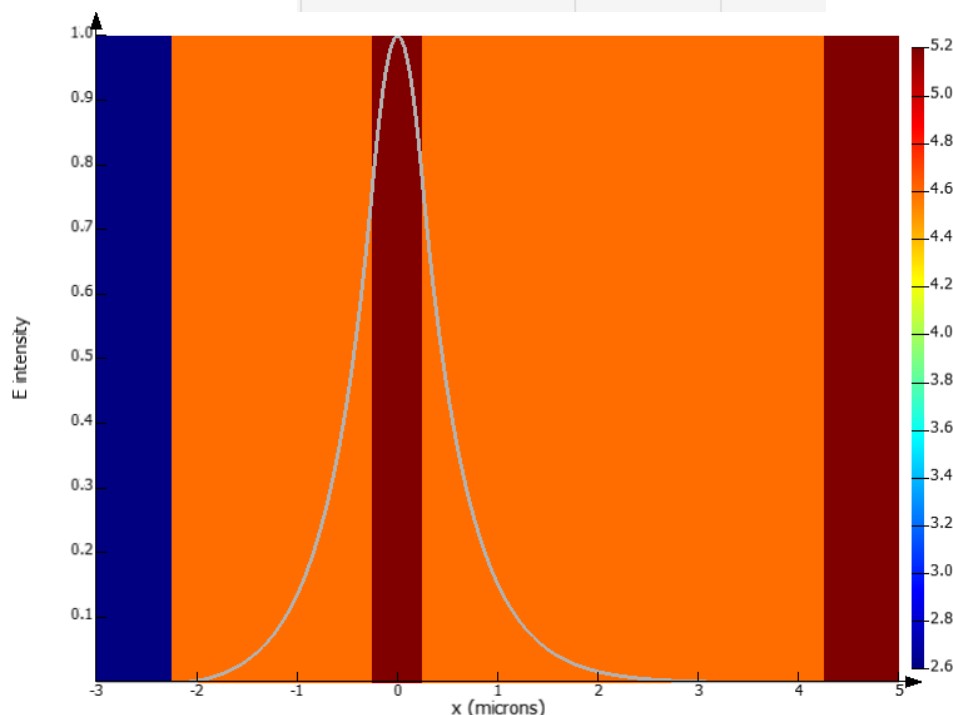


b. Lumerical MODE

- i) Reproduza os resultados apresentados em <https://ieeexplore.ieee.org/document/53377/>. Há quantos modos propagantes?

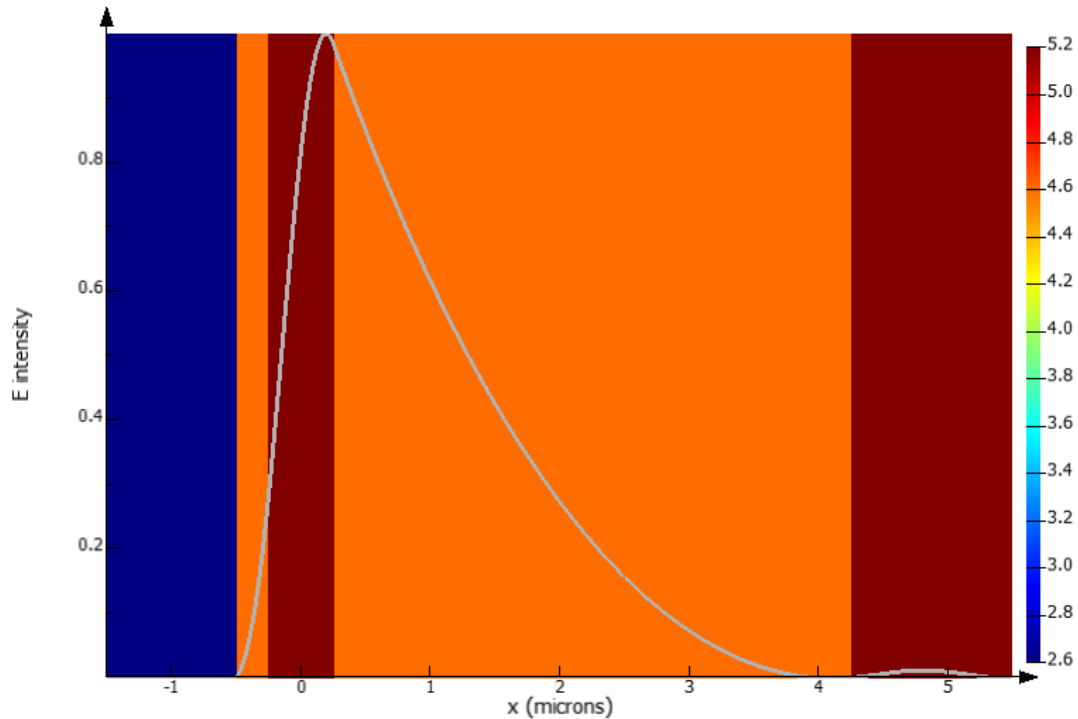
Utilizando o Eigenmode Solver para o caso em que $d_2 = 2\mu\text{m}$, percebe-se a propagação de somente 1 modo TE propagante na camada ativa do guia multislabs

| effective index | wavelength (μm) | loss (dB/cm) |
|------------------------|------------------------------|--------------|
| 4.742280-7.214172e-06i | 6.7 | -0.58763 |



Para o caso de $d_2 = 0,25\mu\text{m}$, somente um modo TE se propaga adequadamente na camada ativa

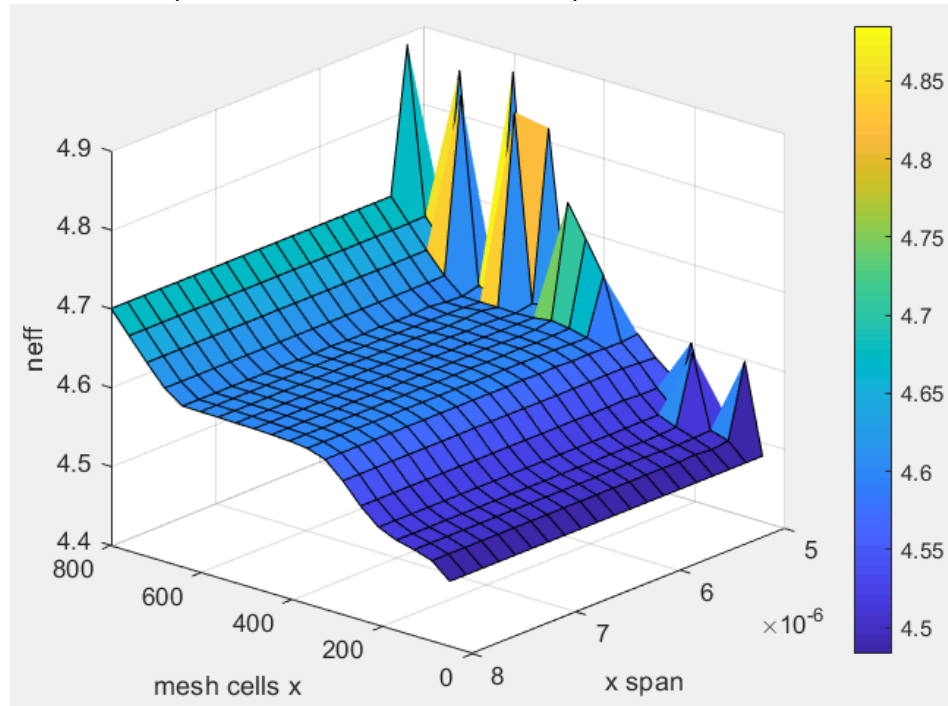
| effective index | wavelength (μm) | loss (dB/cm) |
|------------------------|------------------------------|--------------|
| 4.602504-0.0005631247i | 6.7 | -45.869 |



ii) **Compare os resultados obtidos neste item com aqueles obtidos no item 3.a.i. Os resultados são similares? Quais as vantagens em utilizar o Lumerical MODE?**

Comparando os índices efetivos e os coeficientes de perda (loss), é notório que são em pares resultados próximos e compatíveis. Utilizar o Lumerical MODE gerou, além de uma maior facilidade de análise, eficiência e melhor visualização de resultados, também foi possível pelo mesmo verificar outros modos no limiar da propagação e perceber o quão influente o substrato foi no quesito de propagação de certos modos, devido ao seu índice de refração próximo à camada ativa.

- iii) **Realize a análise de convergência considerando o número de grids e a região de simulação. Qual o número ótimo de grids, considerando uma região de simulação entre 5 e 8 μm ?**
Realizando uma análise de domínio bidimensional do número de grids, região de simulação e do índice efetivo para o modo TE0 em $d_2 = 0,25\mu\text{m}$, obtém-se:



Percebe-se que a faixa ótima está entre 600 e 350 de células no mesh estando acima de $5,5\mu\text{m}$ no $y \text{ span}$

- iv) **É possível obter uma curva característica da constante de propagação normalizada em função da frequência normalizada? Caso afirmativo, apresente estas curvas. Caso negativo, justifique.**

Realizou-se uma passagem na frequência normalizada no intervalo de 1 a 10, calculando-se propagação normalizada usando uma equação semelhante a de um slab assimétrico, resultando em:

