



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA

TEEE: PROJETO DE CIRCUITOS FOTÔNICOS EM SILÍCIO

Atividade 8

Professor: Adolfo Fernandes Herbster
Aluno: Erick Cândido Sousa
Turma: 01
Matrícula: 120110361

Campina Grande - CG
2024

1. Objetivo.

- gerar o componentes e objetos de simulação por meio da API Python;
- utilizar o Lumerical FDE para determinar o comprimento de acoplamento do acoplador direcional;
- utilizar o Lumerical FDTD para:
 - obter os desempenho final do dispositivo;
 - comparar os resultados gerados com aqueles gerados pelo FDE e;
 - gerar seus parâmetros S;
- utilizar o Lumerical INTERCONNECT para simular o dispositivo utilizando os parâmetros S gerados no FDTD.

2. Atividades.

2.1. Criação de estruturas e solver.

- O primeiro passo consiste em criar uma estrutura semelhante a apresentada pela Figura 1 (Acoplador direcional em *Si*). Para isso, é considerado um raio igual a $10\ \mu\text{m}$ para os dois semicírculos, um guia reto (entre os semicírculos) com comprimento igual a $5\ \mu\text{m}$ e outro guia reto inferior com comprimento igual a $25\ \mu\text{m}$. Além disso, a largura e altura de cada uma das estruturas é igual a $450\ \text{nm}$ e $220\ \text{nm}$, respectivamente, bem como o *gap* entre as estruturas é, inicialmente, $200\ \text{nm}$. O material em “*Background material*” é escolhido como SiO_2 . O FDE será utilizado inicialmente como solver, posteriormente sendo utilizado o FDTD. A implementação da estrutura foi feita integralmente via API Python. O Resultado obtido é ilustrado na Figura 2.

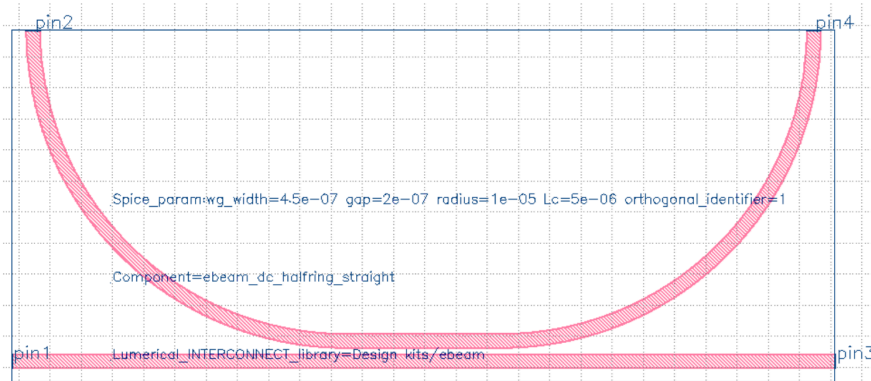
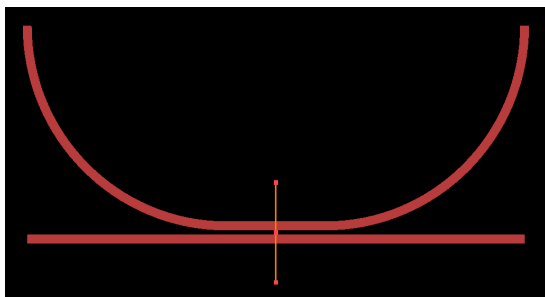
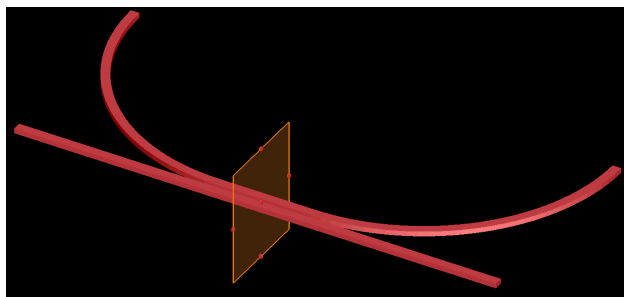


Figura 1 – Acoplador direcional em *Si*.



(a) Vista superior.



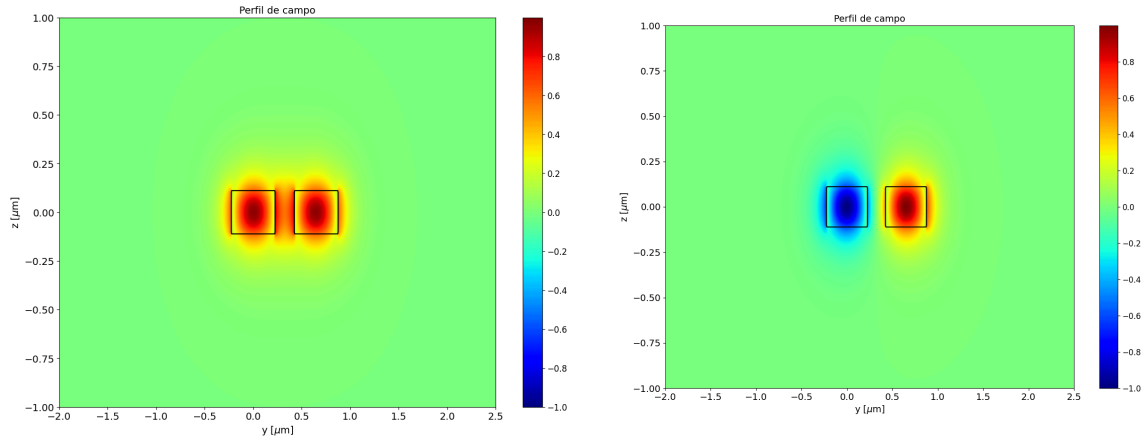
(b) Vista em perspectiva.

Figura 2 – Acoplador direcional em Si.

- Para as primeiras simulações via FDE é importante destacar que tanto o próprio FDE quanto o *mesh* são feitos de modo que sejam normais ao eixo x.

2.2. Simulação via FDE.

- Primeiramente é obtido os **perfis de campo**, sendo ilustrados na Figura 3.



(a) Modo 1 – Simétrico.

(b) Modo 2 – Assimétrico.

Figura 3 - Perfis de campo obtidos via FDE.

- Note pela Figura 3 (a) em comparação à 3 (b) que enquanto um apresenta simetria no perfil de campo, no outro é apresentado uma assimetria.
- Para o **modo 1**, o **índice efetivo obtido** é igual a 2,3755.
- Para o **modo 2**, o **índice efetivo obtido** é igual a 2,3438.
- O comprimento de acoplamento, para esse caso, é igual a 24,50 μm .
- Além disso é realizada uma **análise de convergência**, tendo em vista a variação do *mesh* do FDE. A quantidade de células no mesh do FDE (em y e z) é variada de 20 até 200, utilizando 30 pontos. O resultado é ilustrado na Figura 4.

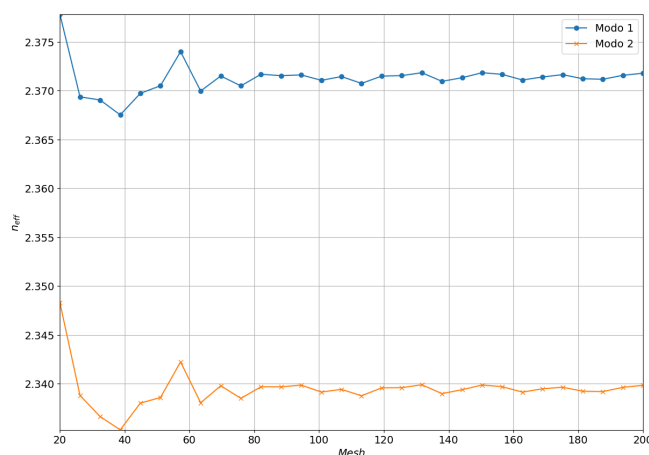


Figura 4 – Análise de convergência.

- Agora é variada a distância entre os guias (*gap*), variando de 0 à 500 nm. O resultado é plotado, obtendo-se o **comprimento de acoplamento versus a distância entre os guias**. Vale ressaltar que:

$$L_x = \frac{\lambda}{2 \cdot \Delta n}$$

- Em que $\lambda = 1550 \mu m$, $\Delta n = n_1 - n_2$ (n_1 é o índice efetivo do modo 1 e n_2 do modo 2) e L_x é o comprimento de acoplamento. O resultado é ilustrado na Figura 5.

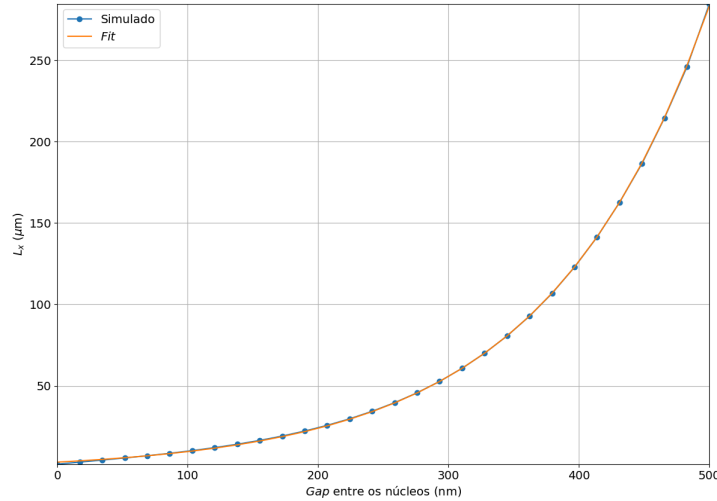


Figura 5 – Comprimento de acoplamento versus *gap* entre os cores.

- Note que o comportamento é bem aproximado por uma exponencial, visto que também foi realizado o fit dos pontos obtidos. Pela Figura 5 pode-se notar que basicamente se sobrepõem.
- Por fim, também é plotado o **acoplamento de potência em função do comprimento de acoplamento**. Nesse caso o *gap* é novamente escolhido igual a 200 nm. Vale destacar que

$$\kappa^2 = \sin^2(C \cdot L)$$

$$t^2 = \cos^2(C \cdot L)$$

- Onde C é $\frac{\pi \cdot \Delta n}{\lambda}$, L é o comprimento de acoplamento, κ^2 é o acoplamento de potência e t^2 é a fração da potência que permanece no guia. Como κ^2 equivale à fração da potência que foi acoplada e t^2 corresponde à fração que permanece, então a soma de ambos deve ser 100%. O resultado é ilustrado na Figura 6.

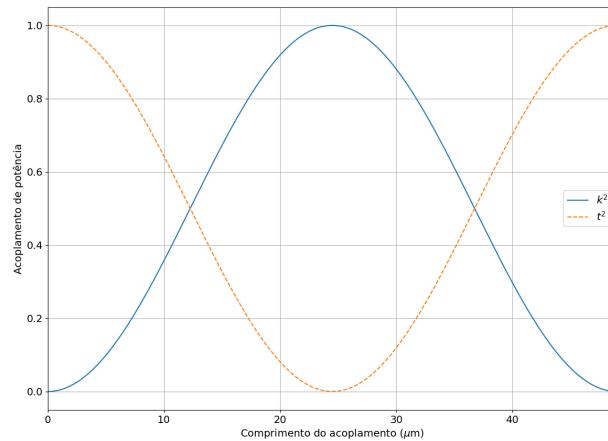


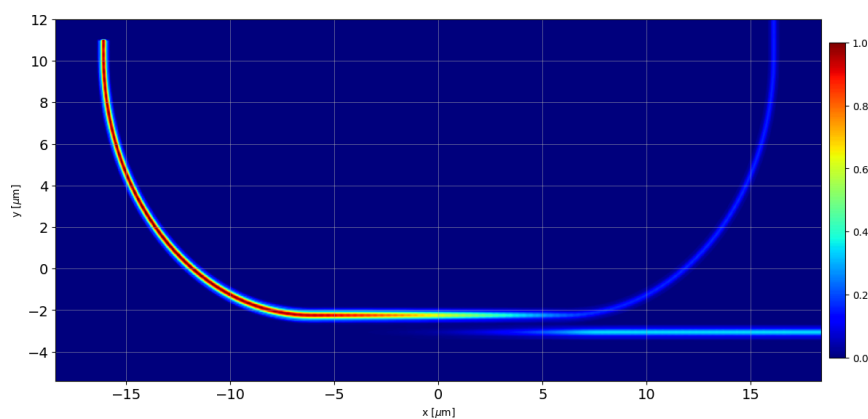
Figura 6 – Acoplamento de potência versus comprimento de acoplamento.

- Note que o resultado é o esperado, pois para acoplamento 100/0 ($\kappa^2 = 1$) o comprimento de acoplamento fica em torno de 24,47 e 24,52, justamente o que foi obtido anteriormente. Para uma razão 50/50 o comprimento de acoplamento é, aproximadamente igual a 12,26 μm . Para uma razão 95/5 é obtido um comprimento de acoplamento igual a 20,99 μm . Para uma razão 99/1 é obtido um comprimento de acoplamento igual a 22,95 μm .

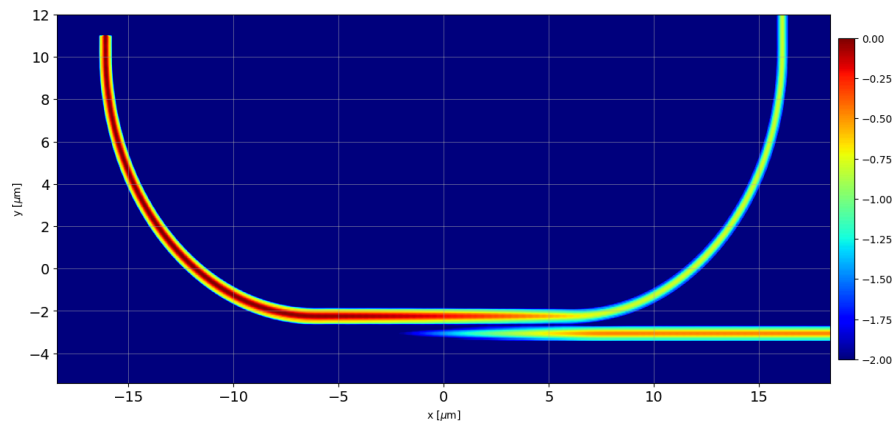
2.3. Simulação via FDTD.

2.3.1. Modo TE.

- Nesse caso a estrutura se mantém, mudando apenas o solver e o acréscimo das portas. Como a estrutura é simétrica em relação ao plano z, a condição é mudada para “**symmetric**” para cálculo de modo TE. O *gap* se mantém em 200 nm, mas agora o guia reto entre os dois semicírculos terá seu comprimento mudado para $L(50/50)$ calculado anteriormente no FDE, ou seja, mudará de 5 μm para 12,26 μm .
- Os **perfis de campo** para o modo 1 e 2 ($||^2$) são ilustrados na Figura 7.



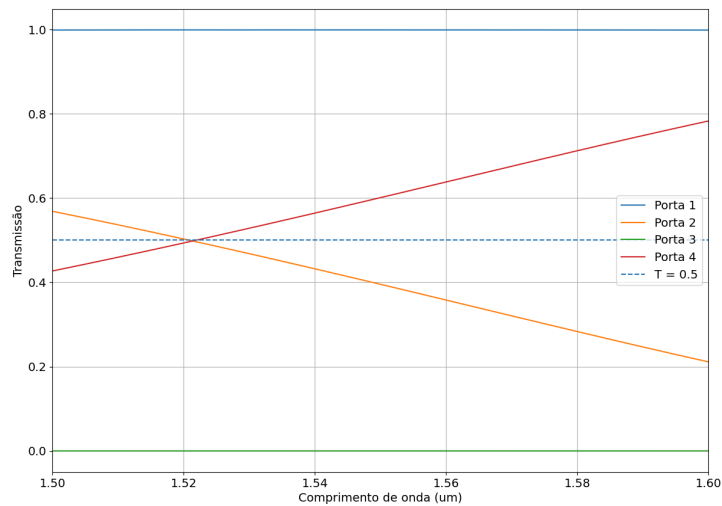
(a) Escala linear.



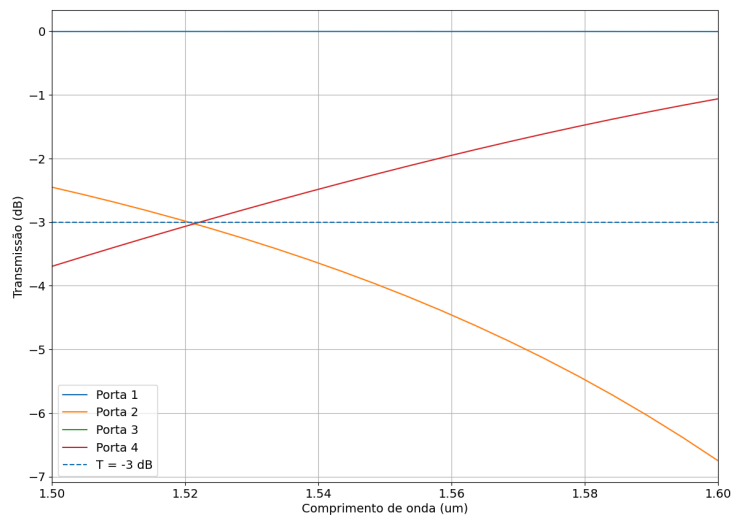
(b) Escala logarítmica.

Figura 7 – Perfis de campo.

- Já a **transmissão** é ilustrada na Figura 8. Vale ressaltar, para referências, a porta 1 corresponde à superior esquerda, a porta 2 equivale à superior direita, a porta 3 equivale à inferior esquerda e a porta 4 equivale à porta inferior direita.



(a) Escala linear.



(b) Escala logarítmica.

Figura 8 – Transmissão.

- A **transmissão**, em $1550 \mu m$, é igual a $0,401$ ($-3,964 dB$) e $0,595$ ($-2,255 dB$) nas portas 2 e 4. Dessa maneira, a **perda de inserção** é dada por $10 \cdot \log_{10}(T_2 + T_4)$, obtendo assim $-0,016 dB$.
- Como pode-se notar pelo gráfico, em $1550 nm$ não há acoplamento de razão 50/50, sendo necessário realizar uma **otimização**. O resultado da otimização é ilustrado na Figura 9.

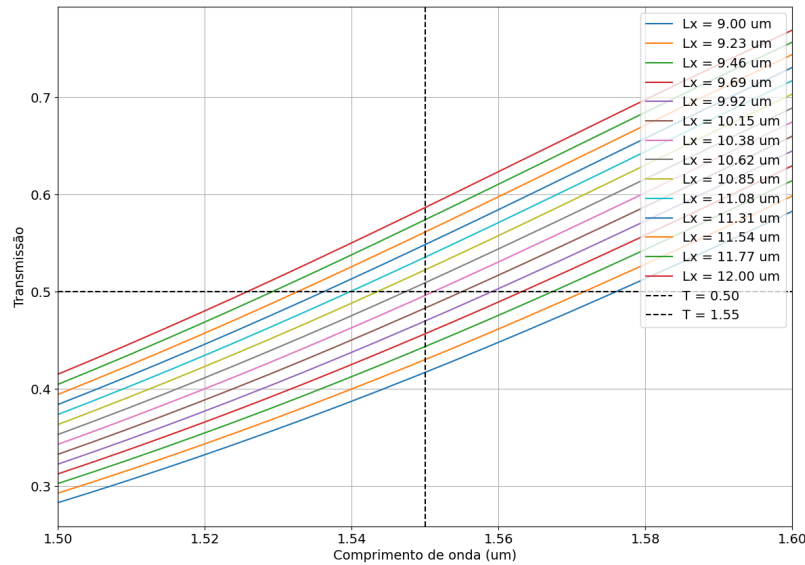
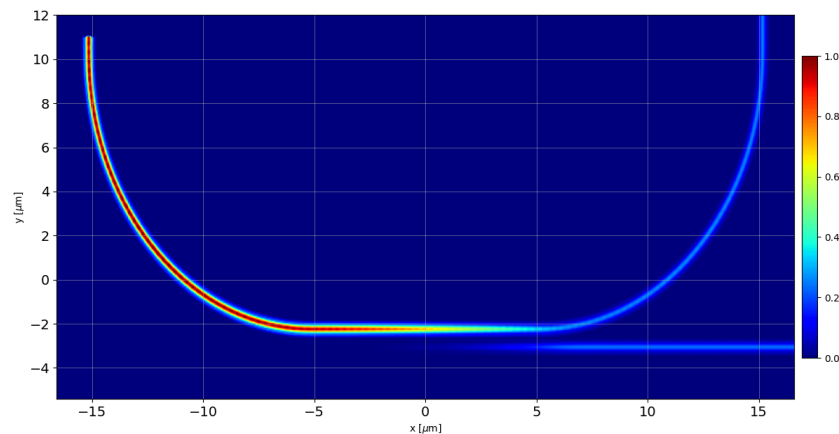
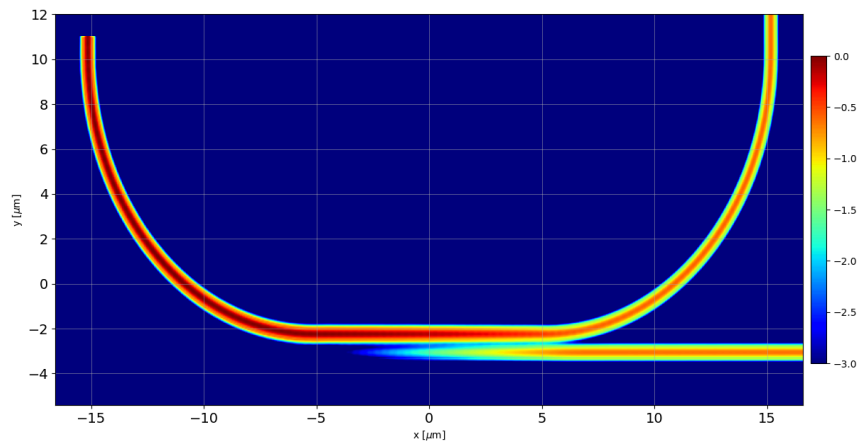


Figura 9 – Simulações realizadas para otimização.

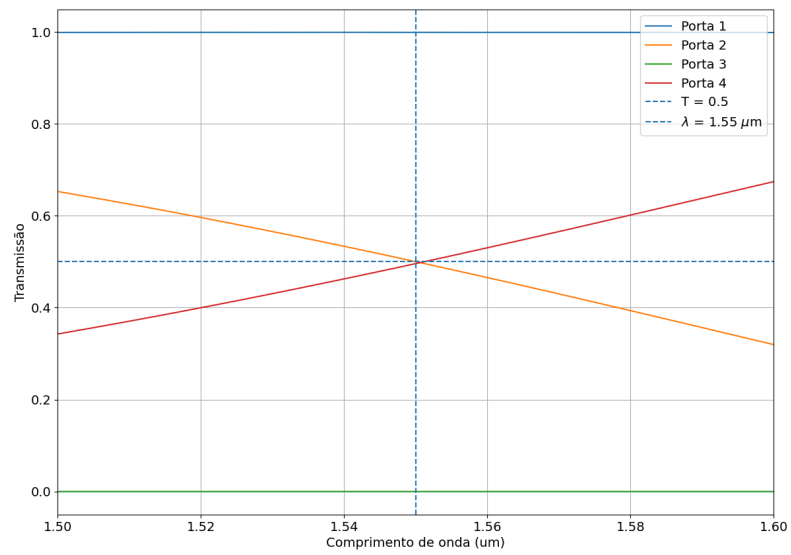
- Note pela Figura 9 que a curva em rosa ($L_x = 10,38 \mu m$) é a curva que mais se aproxima da razão 50/50 em $1550 nm$, logo adota-se esse resultado para a otimização. Na Figura 10 é ilustrado os **perfis de campo para otimização** e na Figura 11 a **transmissão com o valor otimizado** de L_x .



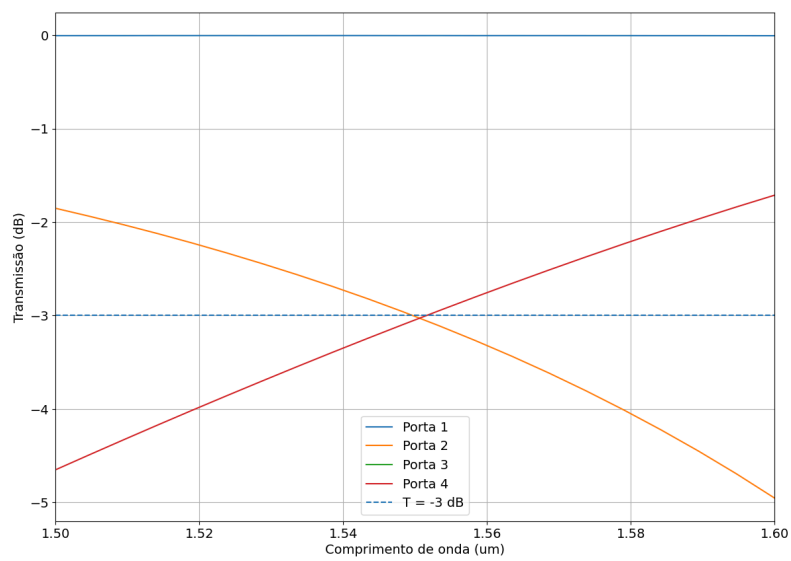
(a) Escala linear.



(b) Escala logarítmica.
 Figura 10 - Perfis de campo otimizado.



(a) Escala linear.

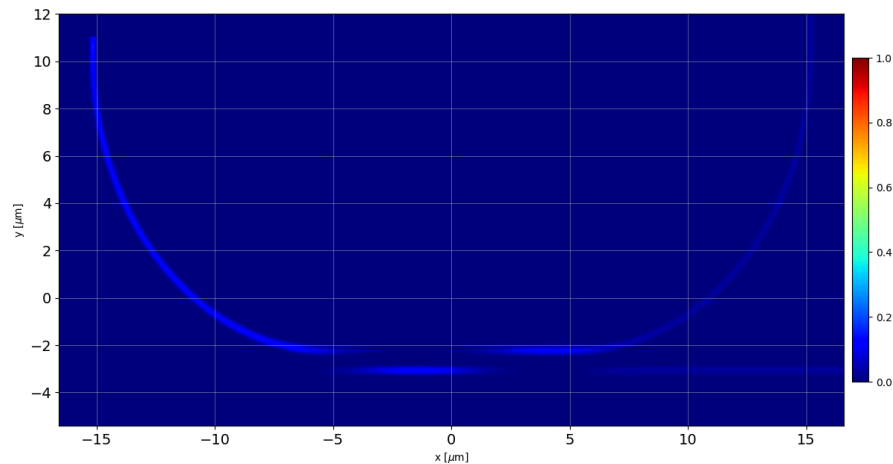


(b) Escala logarítmica.
 Figura 11 - Transmissão otimizada.

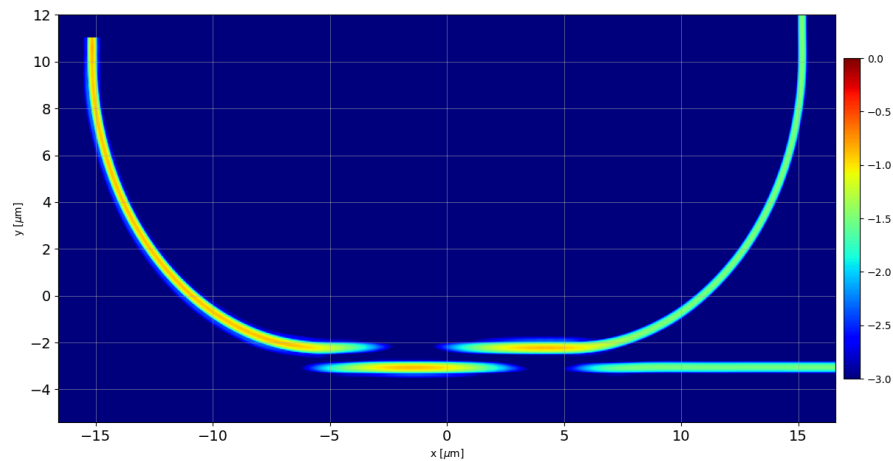
- Note que agora para $\lambda = 1550 \text{ nm}$ a razão de acoplamento é bem próxima de 50/50. Nesse caso as transmissões são iguais a 0,50 (-3 dB , aproximadamente) e além disso, a perda de inserção é igual a 0 dB , aproximadamente.

2.3.2. Modo TM.

- Agora, sabendo qual o valor necessário para a otimização, as mesmas simulações serão feitas, porém agora considerando a condição de fronteira anti-simétrica, para ser considerado o modo TM.
- Na Figura 12 é ilustrado os **perfis de campo para modo TM**, nas escalas linear e logarítmica.



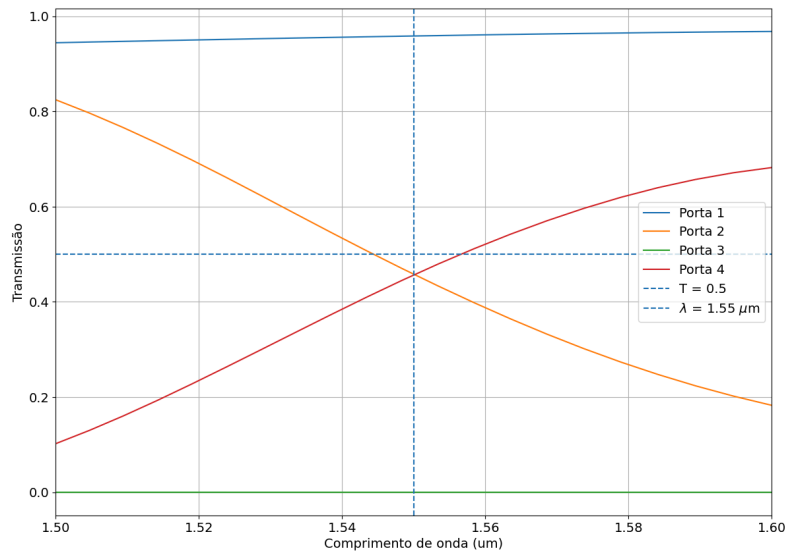
(a) Escala linear.



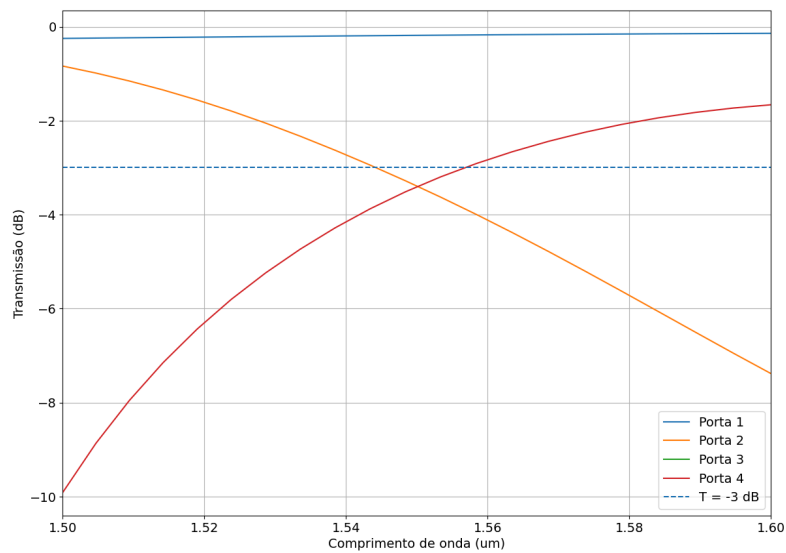
(b) Escala logarítmica.

Figura 12 – Perfis de campo para modo TM otimizado.

- Já as **transmissões para o modo TM** são ilustradas na Figura 13.



(a) Escala linear.



(b) Escala logarítmica.

Figura 13 – Transmissão para modo TM otimizado.

- Note que para o modo TM houve mais que uma vez o acoplamento, e, para cada acoplamento que ocorre, há uma diminuição da transmissão. Isso é observado na Figura 13, onde para 1550 nm a transmissão é igual a 0,45 ($-3,46 \text{ dB}$) na porta 2 e 4, logo a perda de inserção é igual a $-0,45 \text{ dB}$. Quando comparado ao simulado anteriormente para o modo TE (Figura 11), a perda de inserção teve uma alteração, mas, naquele caso, como não houve diversos acoplamentos, basicamente a perda de inserção é nula.