



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CAPACITAÇÃO: FOTÔNICA

Laboratório 09:
MMI

Professor: Adolfo Fernandes Herbster

Discente: Luiz Felipe Barros Alves

Matrícula: 120110674

Campina Grande – PB
22 de novembro de 2024

Sumário

1	Objetivos	2
2	Atividades	2
2.1	Modelo de simulação	2
2.2	Simulação - solver EME	2
2.3	Simulação - solver varFDTD	7
2.4	Simulação - solver FDTD	12
2.5	Simulação - solver INTERCONNECT	14

1 Objetivos

- gerar os componentes e objetos de simulação por meio da API Python;
- realizar análises do dispositivo por meio do API Python;
- utilizar o Lumerical EME para determinar o comprimento ótimo da caixa central de um MMI;
- comparar o desempenho do MMI simulado no EME com os resultados obtidos por meio do VARFDTD e FDTD;
- utilizar o Lumerical INTERCONNECT para simular o dispositivo utilizando os parâmetros S gerados no EME e FDTD.

2 Atividades

2.1 Modelo de simulação

1. **Cálculo do comprimento da caixa central** - determine o comprimento da caixa central do MMI.

- **Resposta:**

O comprimento de batimento:

$$L\pi = 57,42\mu m$$

Conforme apresentado por Soldano e Pennings (1995), o comprimento da caixa central pode ser determinado pela equação 1:

$$L = \frac{3L\pi}{4N}, \quad (1)$$

com $N = 2$. Logo,

$$L = 57,42\mu m$$

2.2 Simulação - solver EME

1. **Simulação do dispositivo** - Realize a simulação do dispositivo gerado na Seção 2.1. Em seguida, aplique a propagação EME (*eme propagate*). Ilustre a intensidade do campo elétrico obtida. A partir desse gráfico, qual o valor do comprimento da caixa central para obter duas imagens? E para obter três imagens? Calcule esses valores por meio da Eq. 1. Os valores são similares?

- **Resposta:**

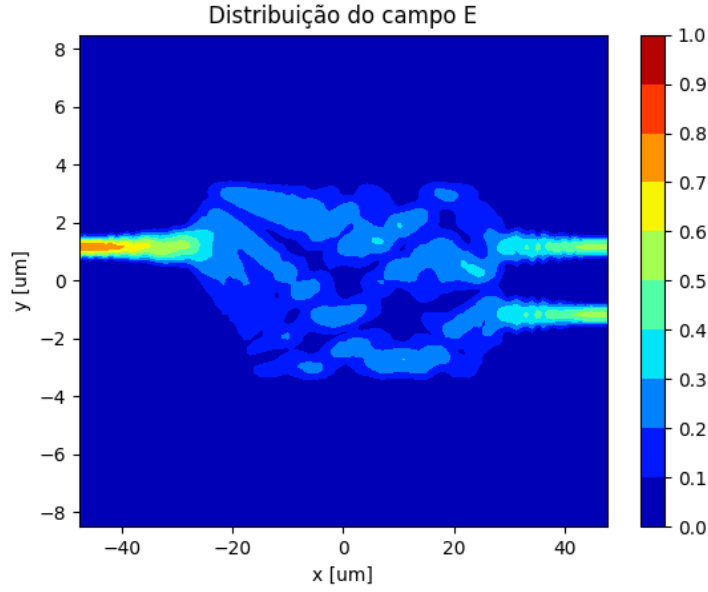


Figura 1: Intensidade do campo elétrico, escala linear.

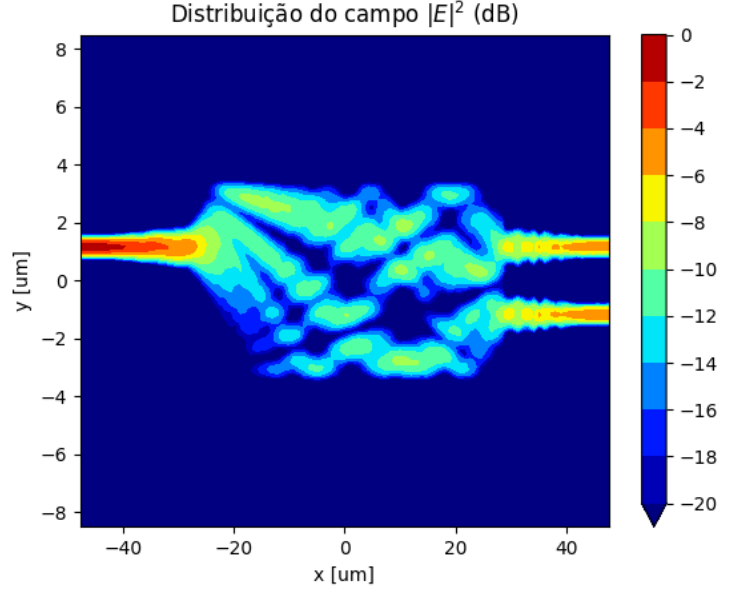


Figura 2: Intensidade do campo elétrico, escala logarítmica.

Observando os gráficos acima, nota-se a formação de duas imagens ocorre no limite final do caixa central, isto é, $57,42\mu m$. A formação de três imagens ocorre em, aproximadamente, $38\mu m$.

De modo teórica, como calculado na subseção anterior, para obter duas imagens o comprimento da caixa deve ser:

$$L = 57,42\mu m,$$

para obter três imagens, conforme a Equação (1), se tem:

$$L = \frac{3L\pi}{3.4} = 38,28\mu m.$$

2. **Desempenho em função do comprimento de onda** - Realize a varredura em comprimento de onda (*wavelength sweep*). Apresente os gráficos de transmissão, perda de inserção, desbalanceamento e erro de fase do dispositivo.

- **Resposta:**

Os resultados obtidos estão indicados abaixo:

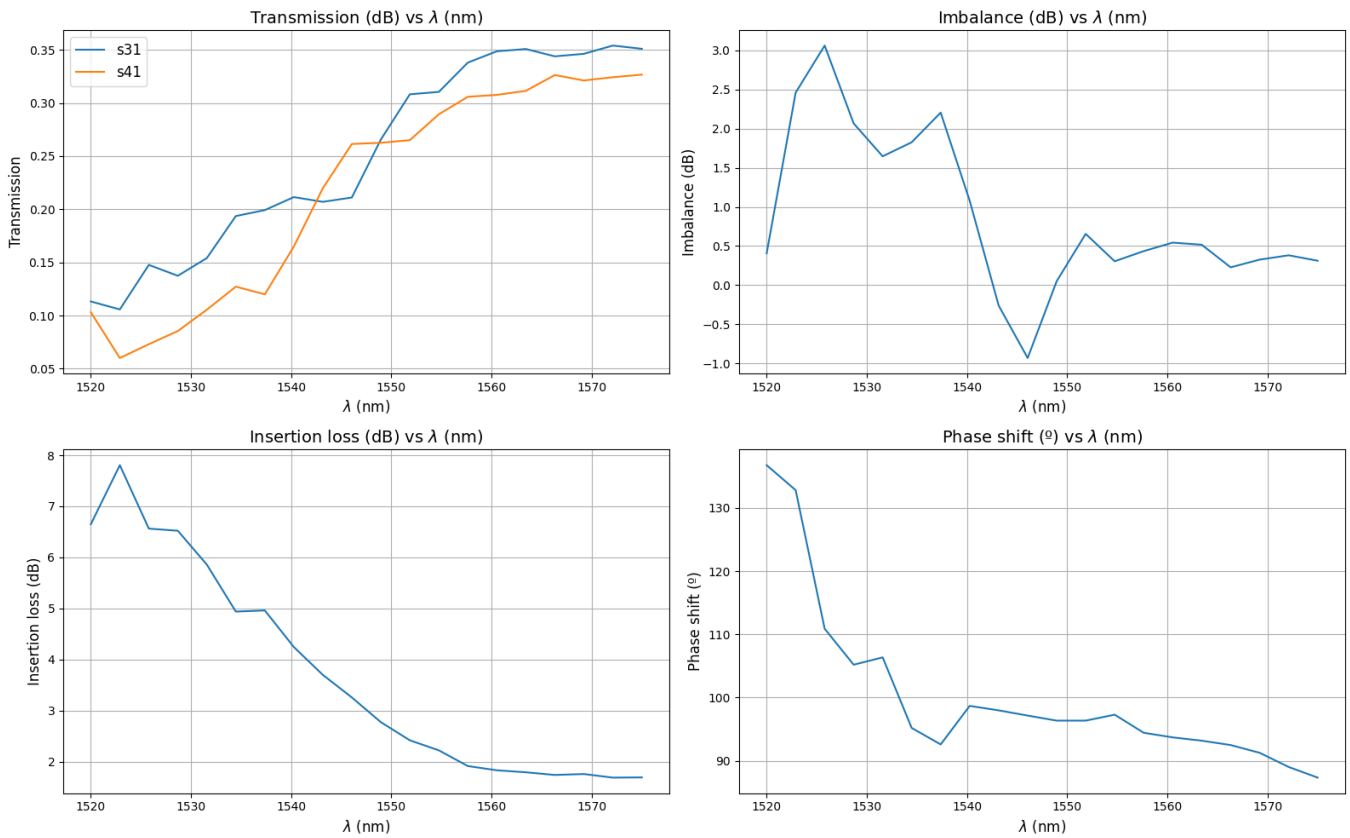


Figura 3: Resultados a partir do *wavelength sweep*.

3. **Otimização do comprimento da caixa central** - Otimize o comprimento da caixa central por meio da varredura da célula específica (*group span*). Considere uma variação de $\pm 10\%$ em torno do valor calculado pela Eq. 1. Com o valor otimizado, apresente novamente os gráficos de desempenho do dispositivo, solicitados no item anterior.

- **Resposta:**

Os resultados obtidos para otimização:

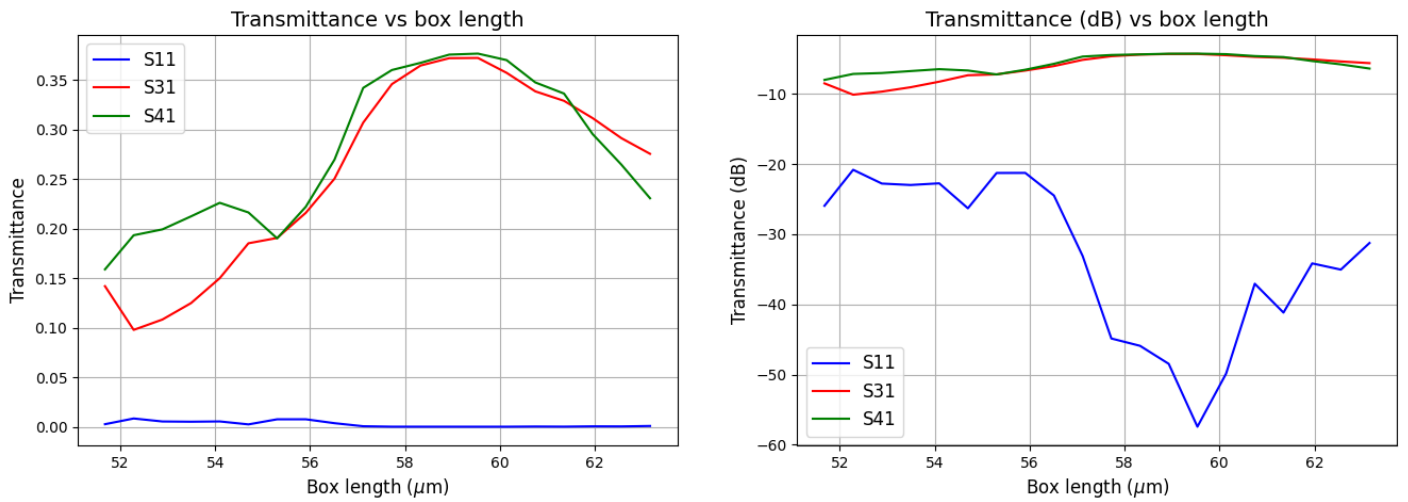


Figura 4: Otimização do comprimento da caixa - MMI.

Para determinar o melhor valor para o comprimento da caixa, analisa-se a Figura 5.

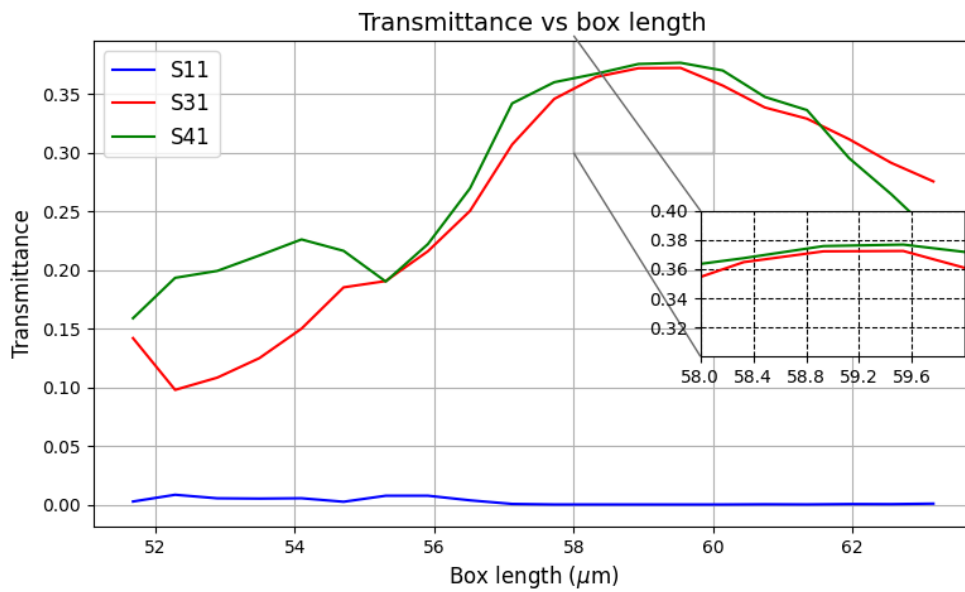


Figura 5: Otimização - *zoom*.

Por meio da imagem, percebe-se que o comprimento ótimo para caixa central é de, aproximadamente, $59,2\mu\text{m}$.

Atualizando o comprimento do caixa central para esse valor e realizando uma nova simulação se obteve os resultados abaixo:

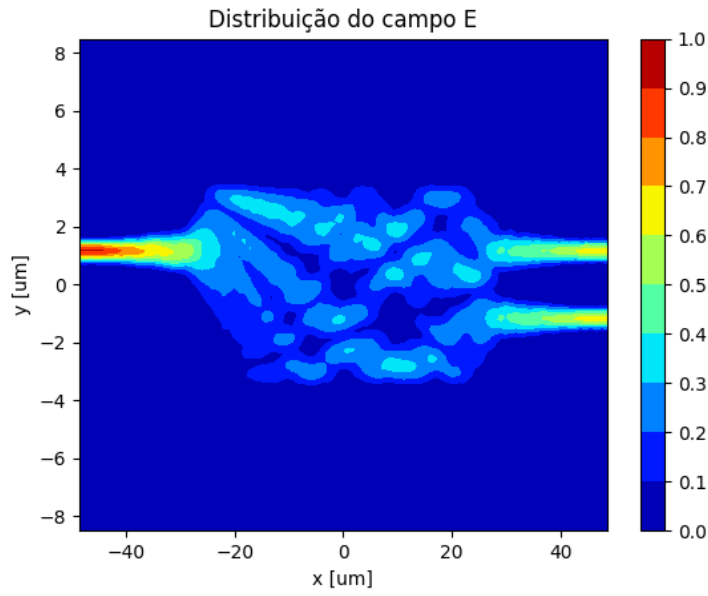


Figura 6: Intensidade do campo elétrico, escala linear - Otimizado.

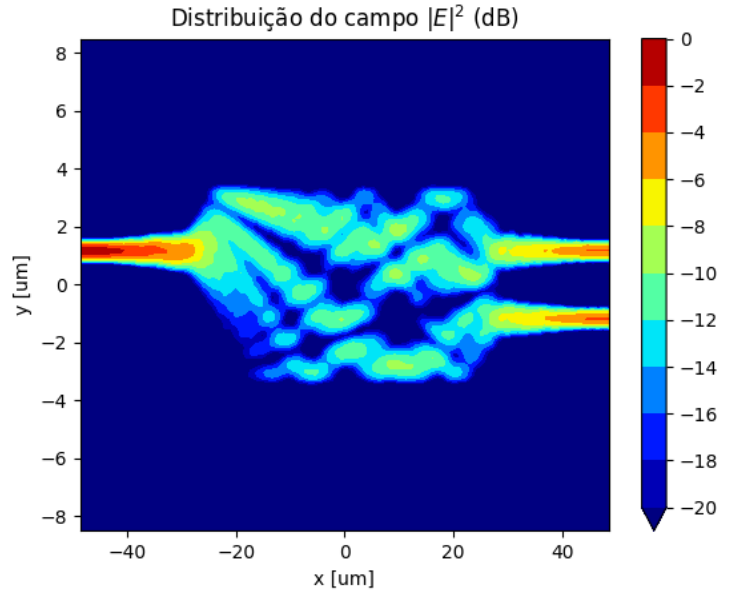


Figura 7: Intensidade do campo elétrico, escala logarítmica - Otimizado.

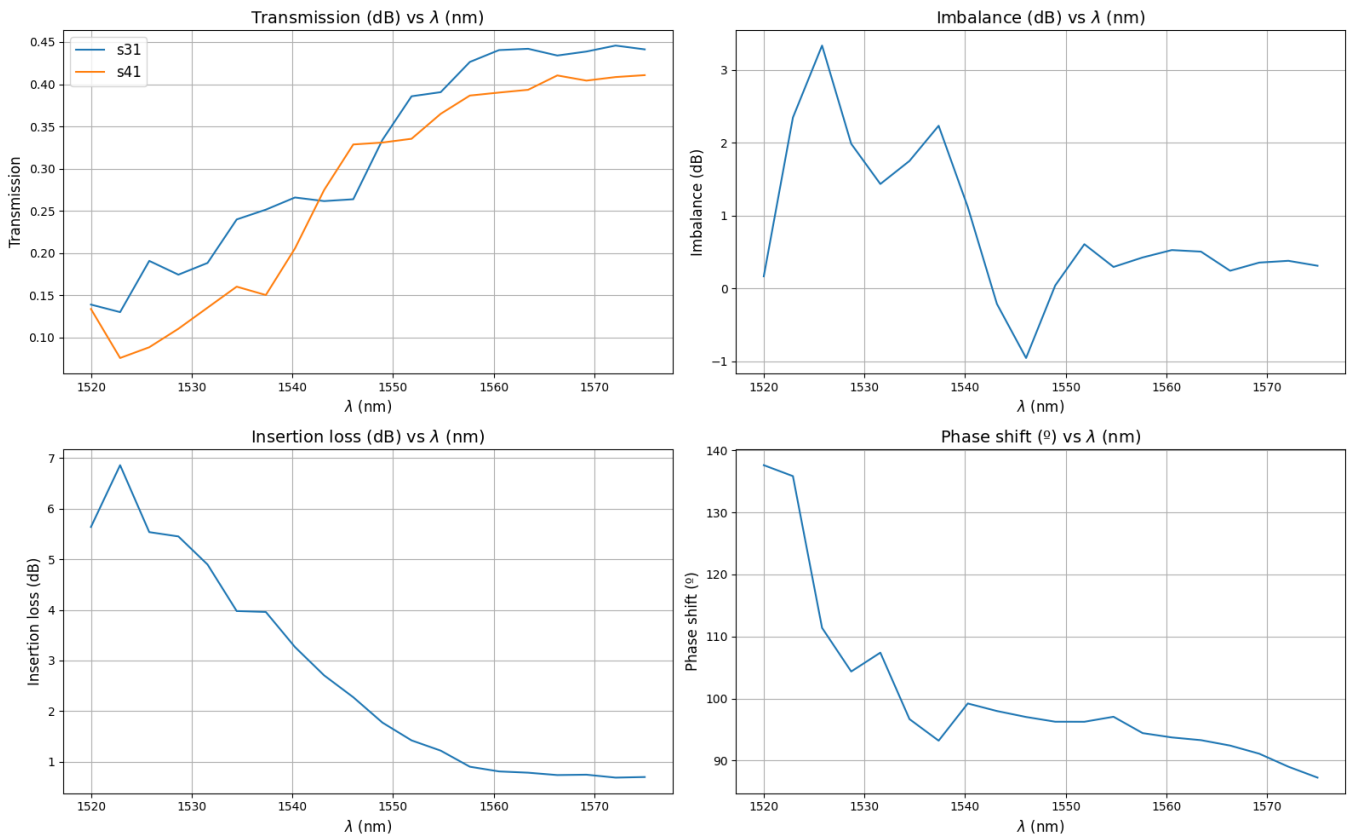


Figura 8: *wavelength sweep* - Otimizado.

Nota-se que ocorre uma melhora significativa no desempenho do dispositivo, prin-

principalmente a transmitância nas portas de saída.

2.3 Simulação - solver varFDTD

1. **Simulação do dispositivo - varFDTD** - Realize a simulação do dispositivo, considerando o comprimento da caixa central otimizado a partir da simulação utilizando o *solver* varFDTD, cujo comprimento deve ser necessário para uma relação 50/50, obtida no item anterior. Verifique seus resultados. Apresente, em seu relatório, o perfil da intensidade do campo elétrico ($|E|^2$), assim como a transmissão nas portas na escala linear e na escala logarítmica. Qual a transmissão no comprimento de onda de 1550 nm? Qual a perda de inserção em 1550 nm? Qual a banda de operação do dispositivo? Compare com os resultados obtidos com o *solver* EME.

• **Resposta:**

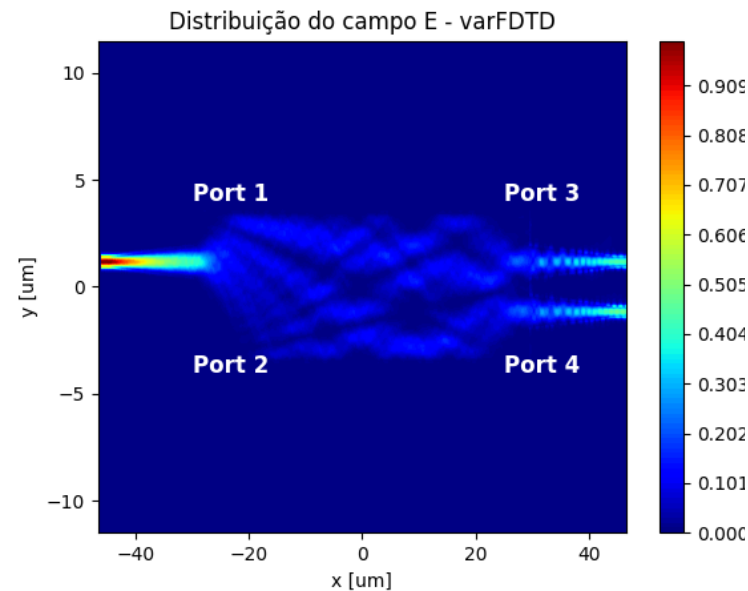


Figura 9: Intensidade do campo elétrico, escala linear.

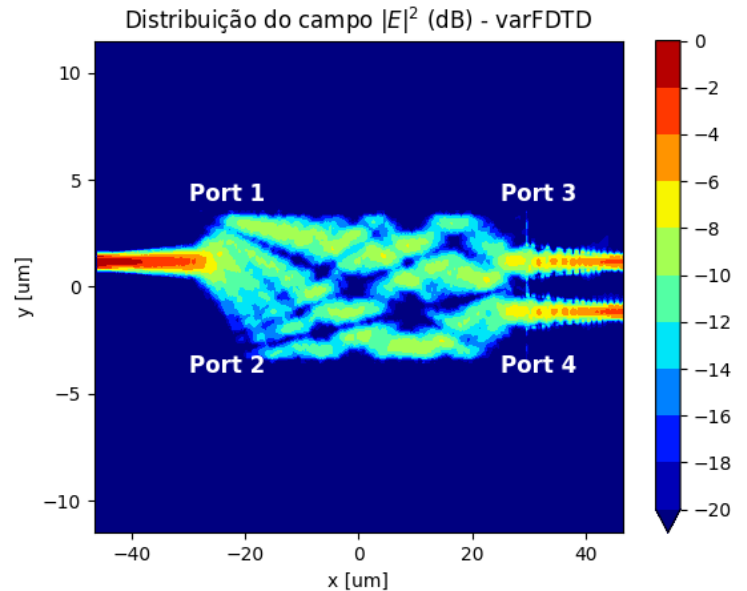


Figura 10: Intensidade do campo elétrico, escala logarítmica.

Transmissão nas portas de saída:

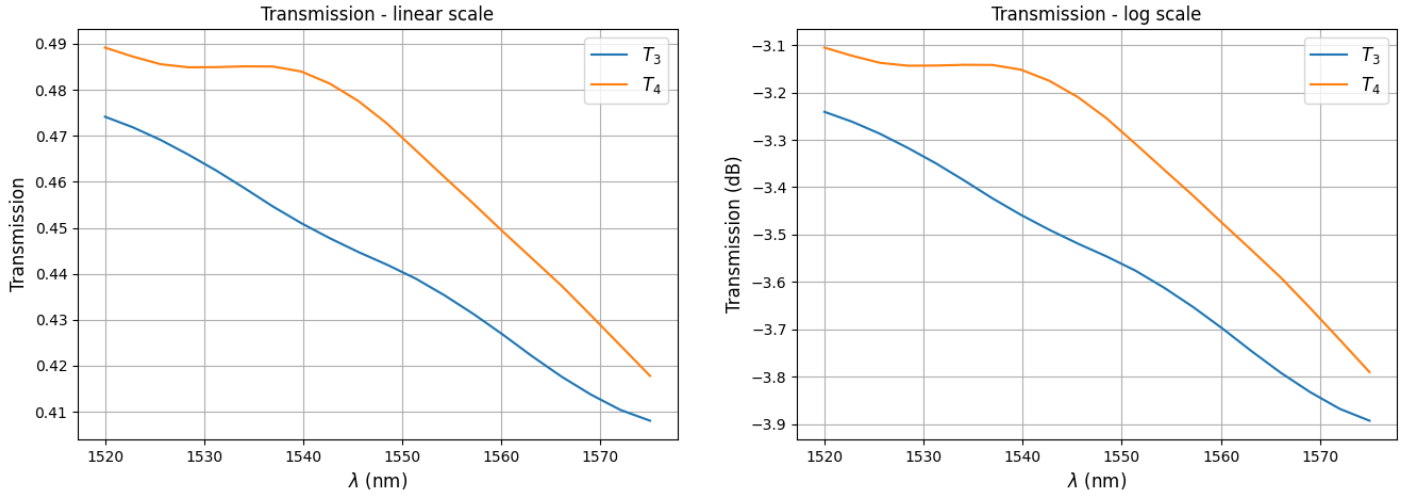


Figura 11: Transmissão nas portas de saída do dispositivo - MMI.

A transmissão para o comprimento de onda de 1550 nm pode ser melhor visualizado a partir da imagem 12:

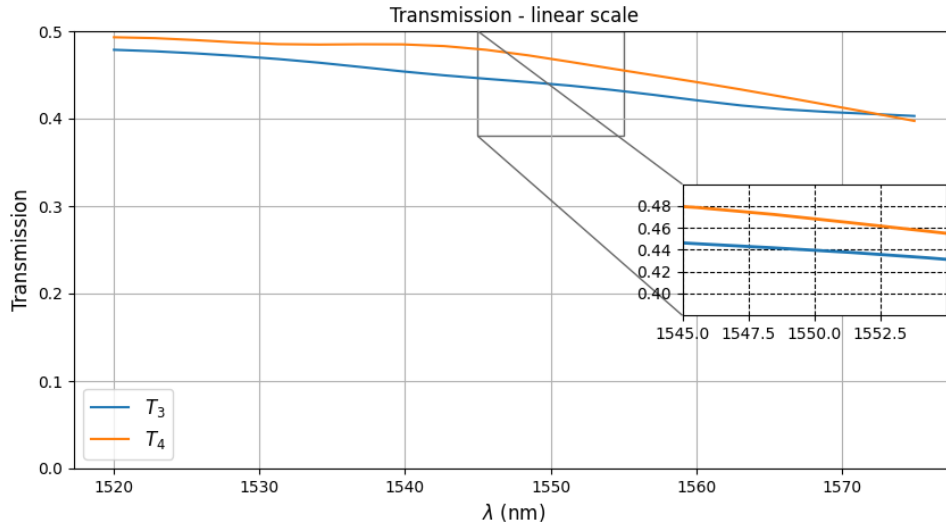


Figura 12: Transmissão para o comprimento de onda de 1550 nm.

Por meio da imagem acima, as transmissões no comprimento de onda de 1550 nm nas portas de saída são: $T_3 = 0,44$ e $T_4 = 0,47$.

Teoricamente, a soma das transmissões nas duas portas de saída deveriam ser igual a 1. Contudo, na prática esse valor não é alcançado, assim, pode-se determinar a perda de inserção do dispositivo que, em dB, é dado pela expressão abaixo:

$$Insertion_{Loss} = -10 \cdot \log_{10}(T_3 + T_4), \quad (2)$$

$$Insertion_{Loss} = 0.41dB.$$

De forma complementar, a Figura 13 mostra a perda de inserção para do dispositivo operando na Banda C.

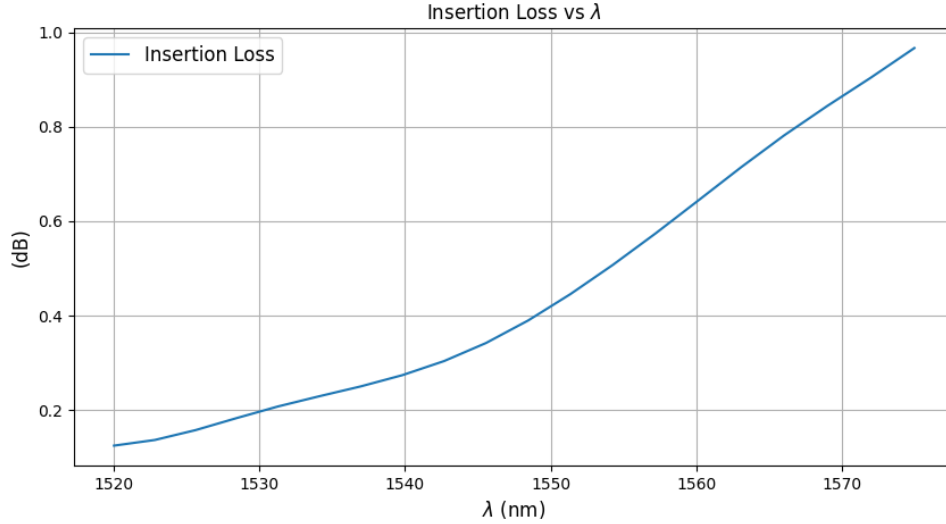


Figura 13: Perda de inserção - Banda C.

Em relação a banda de operação do dispositivo, por meio da imagem acima, nota-se que não ocorre uma perda de inserção maior que 3dB em para toda a Banda C, logo, a Banda de operação é toda a Banda C.

Traçando em comparativo com o *solver* EME, pode-se notar que os perfis de campo possuem similaridade, entretanto, as transmitâncias para os comprimentos de onda iniciais da Banda C divergem de um *solver* para outro.

2. **Simulação do dispositivo - modo TM - varFDTD** - Desejamos simular o desempenho do modo TM com o comprimento otimizado. Neste caso, podemos mudar o tipo de fronteira *y min* de tipo **Anti-Symmetric**. Realize as mesmas simulações anteriores. Compare seus resultados com aqueles obtidos para o modo TE.

- **Resposta:**

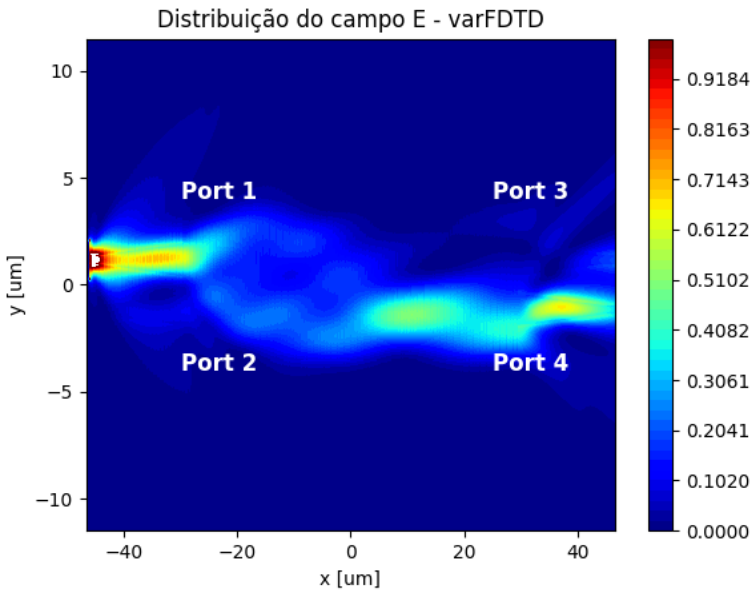


Figura 14: Intensidade do campo modo TM, escala linear.

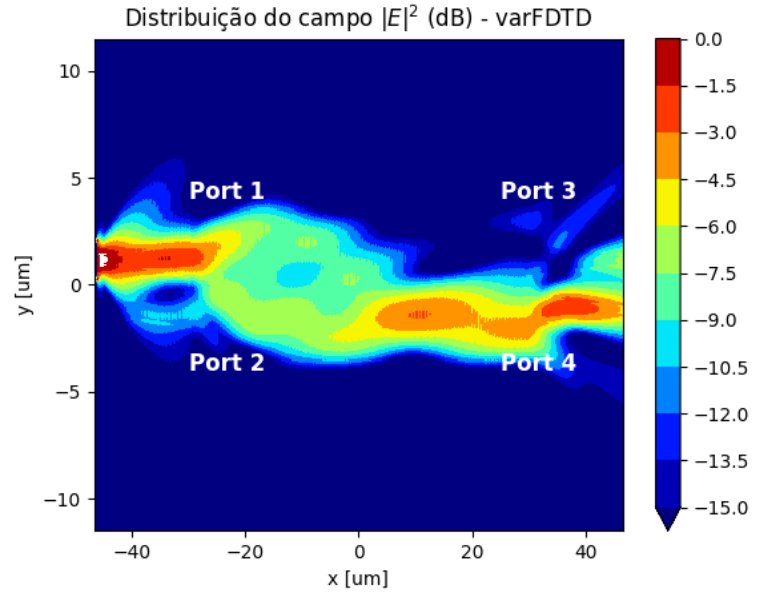


Figura 15: Intensidade do campo modo TM, escala logarítmica.

Transmitância obtida:

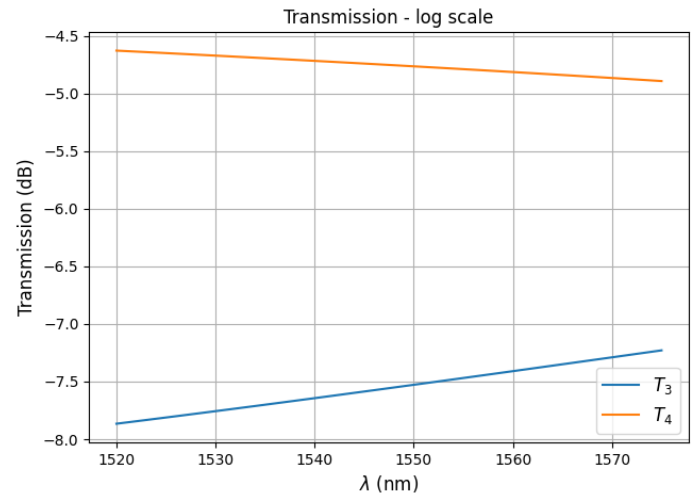
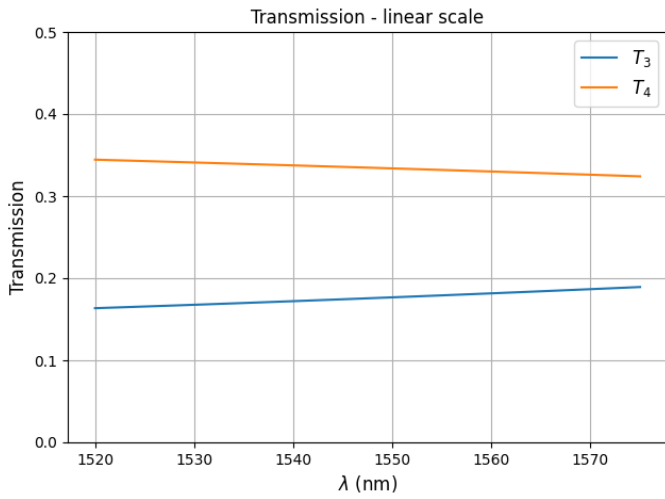


Figura 16: Transmissão nas portas de saída modo TM - MMI.

A transmissão nas portas de saída, para o comprimento de onda de 1550nm, referente ao modo TM pode ser observada por meio da Figura 22.

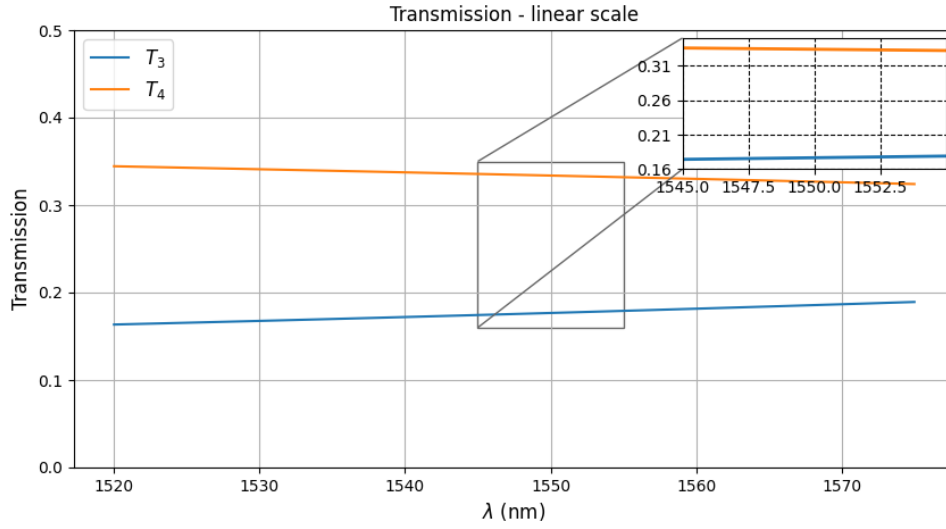


Figura 17: Transmissão para o comprimento de onda de 1550nm - modo TM.

A transmissão obtida para cada uma das portas de saída foram: $T_3 = 0,18$ e $T_4 = 0,34$.

A perda de inserção para esse caso é de:

$$Insertion_{Loss} = -10 \log_{10}(0,18 + 0,34) = 2,84dB.$$

A Figura 18 apresenta a perda de inserção do dispositivo operando com o modo TM referente a Banda C.

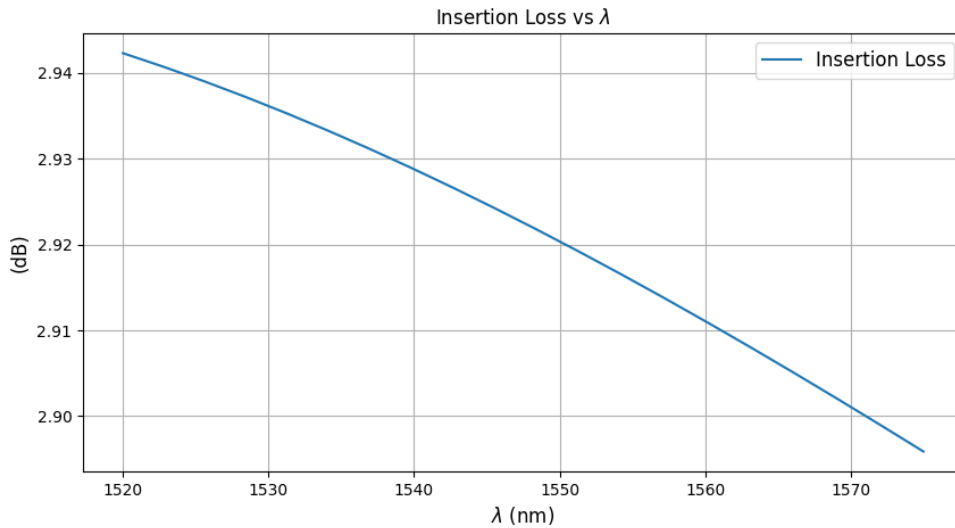


Figura 18: Perda de inserção modo TM - Banda C.

Por meio do gráfico acima se percebe que o desempenho do dispositivo operando com o modo TM é bem inferior ao desempenho para o modo TE. A perda de

inserção para o modo TM é significativamente maior, o que é refletido no perfil de campo distorcido apresentado nas Figuras 14 e 15. Isso ocorre porque o comprimento da caixa central foi dimensionado para operar com o modo TE.

2.4 Simulação - solver FDTD

1. **Simulação do dispositivo - FDTD** - Realize a simulação do dispositivo, considerando o comprimento da caixa central otimizado a partir da simulação utilizando o EME e varFDTD, cujo comprimento deve ser necessário para uma relação 50/50, obtido na seção anterior. Verifique seus resultados. Apresente, em seu relatório, o perfil da intensidade do campo elétrico ($|E|^2$), assim como a transmissão nas portas na escala linear e na escala logarítmica. Qual a transmissão no comprimento de onda de 1550 nm? Qual a perda de inserção em 1550 nm? Qual a banda de operação do dispositivo? Compare com os resultados obtidos com o solver EME e varFDTD. Qual resultado é mais confiável? Justifique sua resposta.

• Respostas:

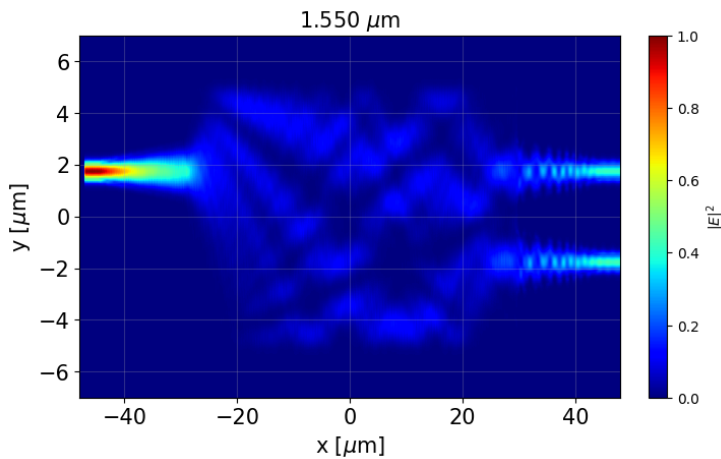


Figura 19: Intensidade do campo elétrico, escala linear - Otimizado.

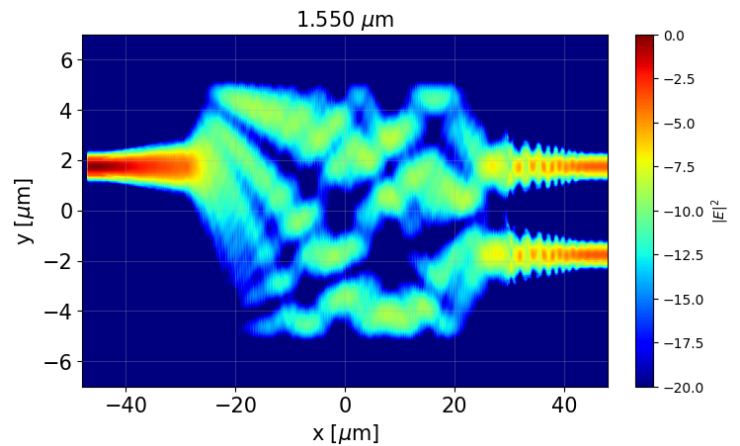


Figura 20: Intensidade do campo elétrico, escala logarítmica - Otimizado.

Transmitância obtida:

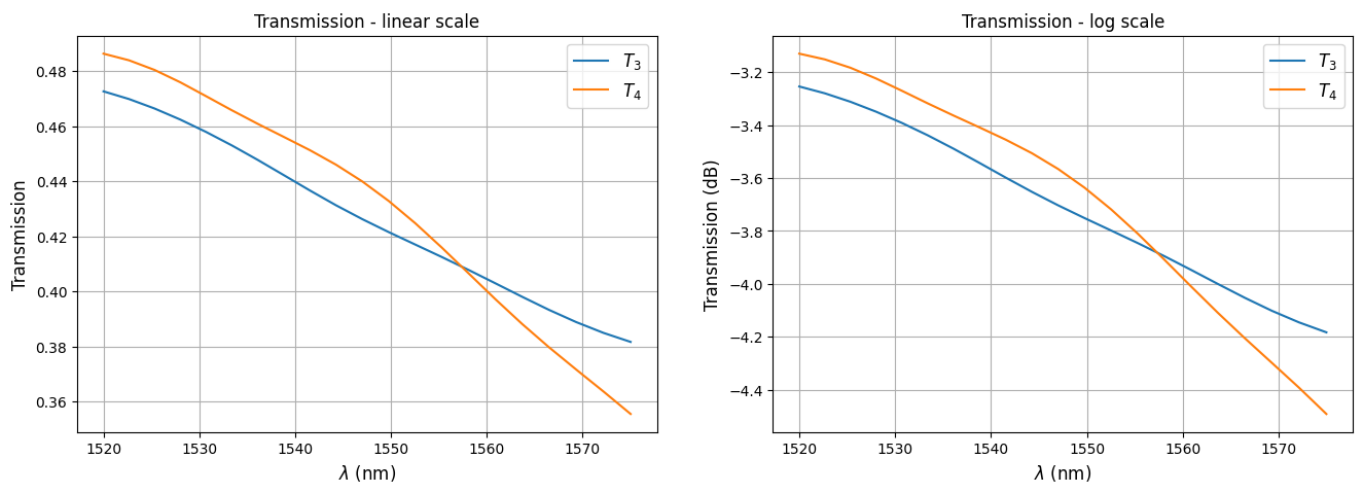


Figura 21: Transmissão nas portas de saída - MMI.

A transmissão nas portas de saída pode ser melhor visualizada na imagem abaixo:

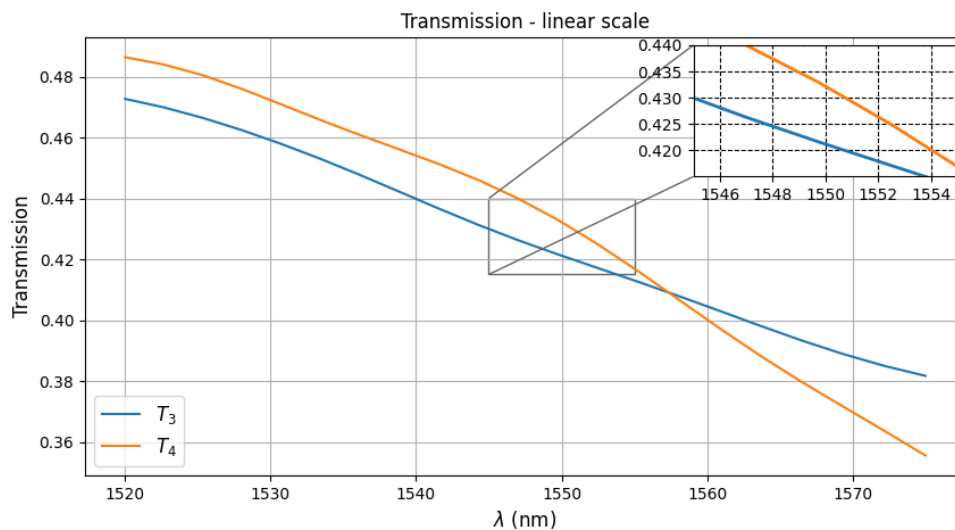


Figura 22: Transmissão para o comprimento de onda de 1550nm.

A transmissão nas portas de saída é: $T_3 = 0,42$ e $T_4 = 0,43$.

A perda de inserção é dada por:

$$Insertion_{Loss} = -10 \cdot \log_{10}(0,42 + 0,43) = 0,71dB$$

Além disso, a perda de inserção ao longo da Banda C é apresentada na Figura 23.

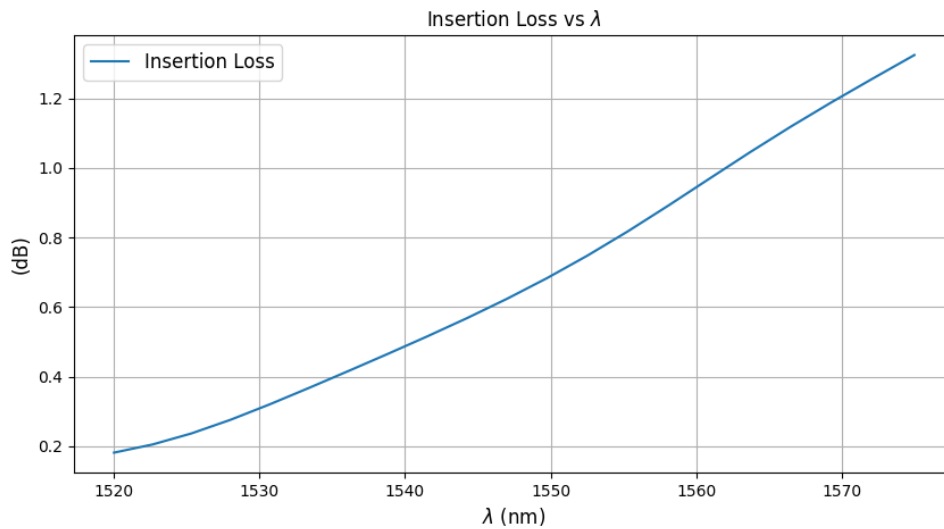


Figura 23: Perda de inserção - Banda C.

A partir da imagem acima, nota-se que não ocorre perda de inserção superior a 3dB ao longo de toda a Banda C, logo, a Banda de operação do dispositivo é toda a Banda C.

Os resultados obtidos via FDTD se assemelham aos resultados dos *solvers* EME e varFDTD. Em todas as simulações o dispositivo teve Banda de operação semelhante, mas com certas diferenças na transmissão das portas de saída. Os perfis de intensidade de campo em todos os casos tiveram considerável semelhança. Os resultados mais confiáveis são os do FDTD, pois o FDTD oferece resultados mais completos e detalhados, por isso o maior custo computacional.

2.5 Simulação - solver INTERCONNECT

1. **Simulação do dispositivo - INTERCONNECT** Utilizando o INTERCONNECT, realize a simulação do acoplador direcional a partir das tabelas exportadas no EME e FDTD. Utilize o bloco *Optical N Port S-Parameter* e carregue o arquivo específico gerado no FDTD. O bloco de análise será o ONA (*Optical Network Analyzer*). Compare com os resultados obtidos por meio do EME e FDTD.

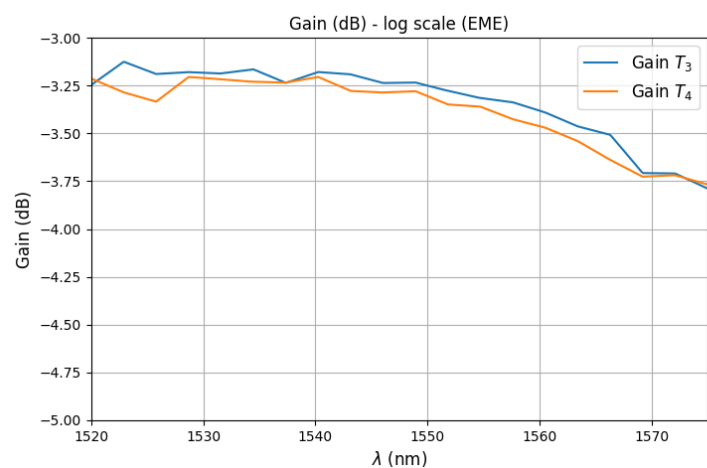


Figura 24: Simulação *Interconnect*, EME.

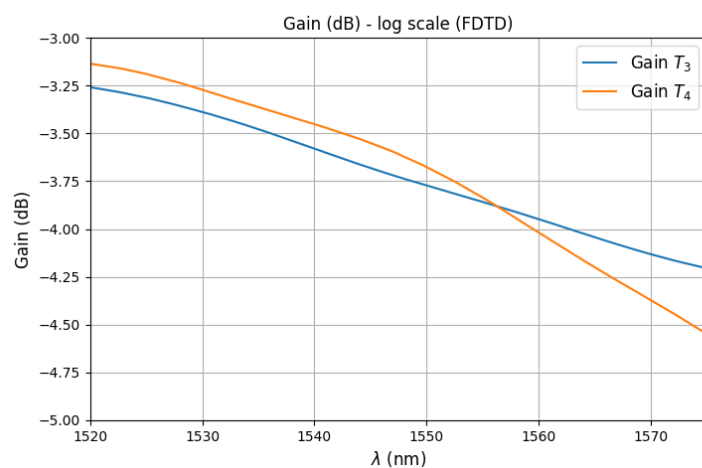


Figura 25: Simulação *Interconnect*, FDTD.

Nota-se a partir das imagens acima que os valores de transmissão com os dados exportados dos *solvers* EME e FDTD são próximos. Indicando uma convergência entre os resultados de ambos os *solvers*.

Referências

SOLDANO, L. B.; PENNINGS, E. C. M. Optical multi-mode interference devices based on self-imaging : Principles and applications. **JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY**, v. 13, 1995.