



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

Atividade Final:  
*Waveguide Crossing otimizado*

Professor: Adolfo Fernandes Herbster

Discente: Erick Cândido Sousa

Matrícula: 120110361

Campina Grande – PB  
17 de dezembro de 2024

# Sumário

<b>1</b>	<b>Objetivos</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Atividades</b>	<b>2</b>
2.1	Documentos Base . . . . .	2
2.2	Etapa 1: Construção da Estrutura Base . . . . .	2
2.3	Etapa 2: Otimização 2D e 3D . . . . .	3
2.3.1	Figura de Mérito ( <i>FOM</i> ) . . . . .	3
2.4	Etapa 3 e 4: Resultados das Simulações e Otimização . . . . .	4
2.4.1	Resultados para FDTD - 2D . . . . .	4
2.4.2	Resultados para FDTD - 3D . . . . .	6

# 1 Objetivos

- Moldar um guia de onda cruzado inicialmente não otimizado via API Python;
- utilizar a biblioteca *lumopt* para realizar a otimização da estrutura, pelos *solvers* FDTD 2D e 3D;
- simular as estruturas otimizadas e não otimizadas por meio da API Python;
- comparar a transmitância e perfis de campo elétrico entre as estruturas otimizadas e não otimizadas.

## 2 Atividades

### 2.1 Documentos Base

- O artigo base para o desenvolvimento do waveguide crossing foi obtido no site da Lumerical ANSYS [Ansys Lumerical]. Neste artigo é fornecido o GitHub com a biblioteca *lumopt* [Team] (para Python) e outros documentos necessários para dimensionar a estrutura.
- Na Figura 1, é descrito os passos tomados para a obtenção dos resultados. Vale ressaltar que as dimensões, índices dos materiais e comprimentos de onda fornecidos foram alterados para um ambiente mais próximo ao visto em atividades anteriores da capacitação.

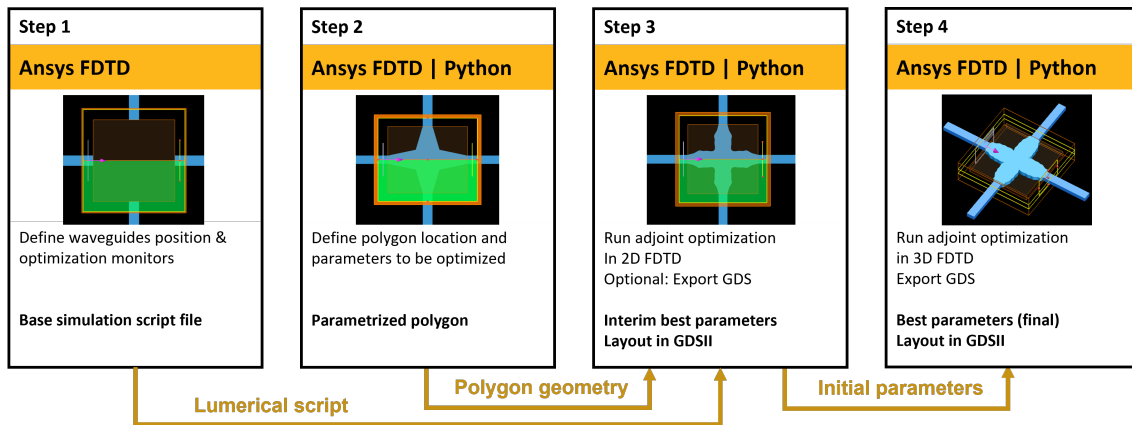


Figura 1: Esquemático das atividades.

### 2.2 Etapa 1: Construção da Estrutura Base

- Os 4 guias de ondas são idênticos, sendo apenas espaçados e rotacionados um dos outros, com largura  $L = 500nm$  e altura  $h = 220nm$ . A distância entre as extremidades dos guias é  $d = 4\mu m$ , de tal forma que seja possível posicionar um elemento quadrado de área  $16\mu m^2$ . A simulação é realizada na banda C de comunicação ( $1530nm \leq \lambda \leq 1565nm$ ). O material dos elementos guiantes é *Si* com índice de

refração  $n_{Si} = 3,4784$  e o material na região de simulação é  $SiO_2$  com índice de refração  $n_{SiO_2} = 1,4442$ .

- Com o desenho base ajusta-se os monitores, alimentação e solver. A alimentação e monitores são inalterados do FDTD 2D e 3D, sendo a grande diferença o acréscimo de  $z$  *span* no FDTD 3D. Vale destacar que todo o processo de criação da estrutura base foi realizado pela API (*lumapi*).

## 2.3 Etapa 2: Otimização 2D e 3D

- A próxima etapa é ajustar o código para otimização. Na otimização é criado um polígono que conecta os quatro guias de onda. Com o decorrer das iteração a geometria do polígono é alterada de acordo com a quantidade de partições realizadas. Na Figura 2 é mostrada a geometria inicial não otimizada. Esse modelo inicial é utilizado tanto para o FDTD 2D, quanto 3D.

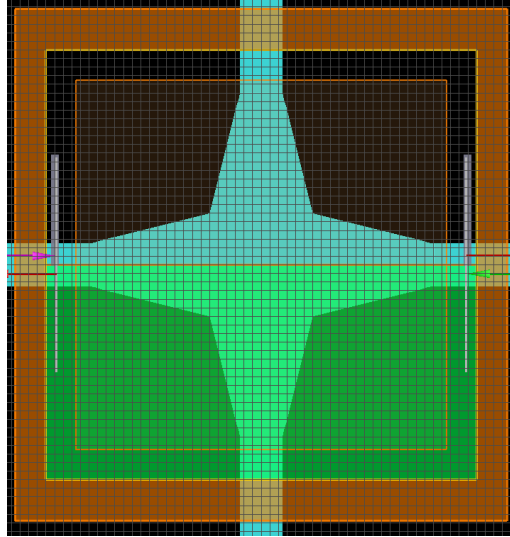


Figura 2: Geometria sem otimização.

- Destaca-se que, devido a simetria da estrutura, apenas  $\frac{1}{8}$  do polígono é criado, sendo espelhado o mesmo molde para as outras 7 seções, ou seja, o processo de otimização foca apenas em alterar essa fração do polígono. Vale destacar que esse algoritmo de otimização salva cada geometria, desde o modelo inicial até o final. Esses dois modelos serão utilizados para serem simulados e comparados.

### 2.3.1 Figura de Mérito (FOM)

- O processo de otimização baseia-se na figura de mérito normalizada. Esta é uma métrica usada para avaliar a qualidade de uma solução em um processo de otimização, assim sendo possível quantificar o quão próximo o desempenho do modelo (simulado) está do desempenho ideal (geralmente uma transmissão ideal ou uma correspondência de modo desejada). A FOM mede a eficiência com que a luz é transmitida através do dispositivo, considerando a potência que é efetivamente propagada

no guia de ondas de saída. Além disso, leva em consideração o quanto um modo simulado se sobrepõe do modo fundamental. A equação abaixo mostra uma forma de modelar matematicamente a figura de mérito.

$$FOM = 1 - \frac{|T_{sim} - T_{target}|}{T_{target}}$$

Onde:

- $T_{sim}$  é a transmitância simulada.
  - $T_{target}$  é a transmitância alvo (ideal).
- Quando se realiza uma otimização é necessário saber o que será otimizado. Dessa forma, com base no que se deseja alcançar, a figura de mérito é alterada.

## 2.4 Etapa 3 e 4: Resultados das Simulações e Otimização

- Na Figura 3 é ilustrada as geometrias finais obtidas do processo de otimização.

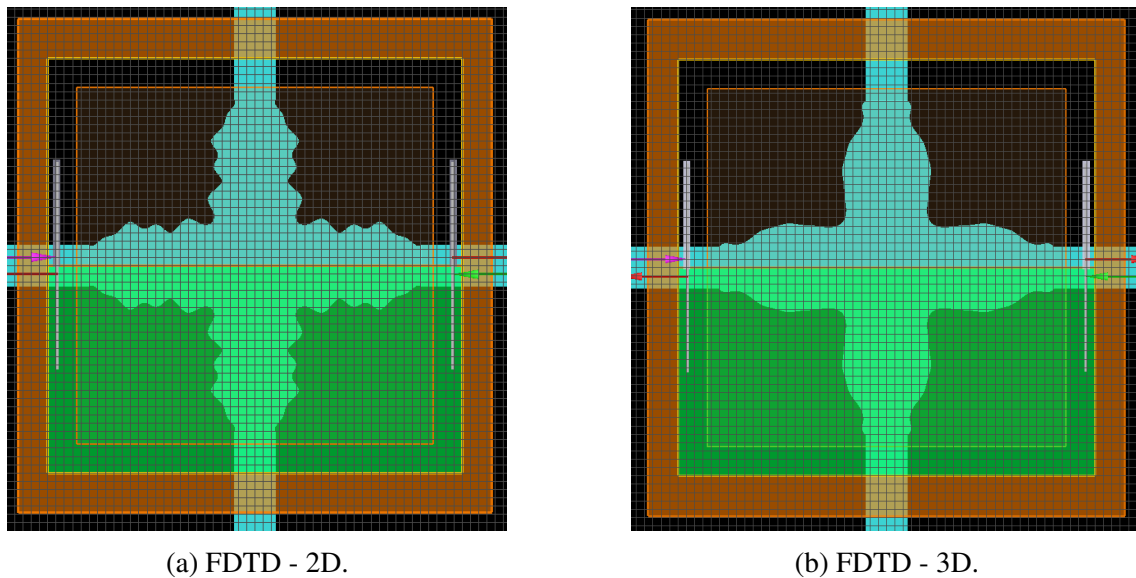


Figura 3: Geometrias otimizadas.

- Antes de realizar a simulação dessas estruturas, foi realizada a simulação do guia cruzado não otimizado.

### 2.4.1 Resultados para FDTD - 2D

- Na Figura 4 é ilustrado o perfil de campo elétrico, tanto em escala linear, quanto em (dB) para a estrutura não otimizada, utilizando solver FDTD 2D. Já na Figura 5 é ilustrada a transmitância para a mesma estrutura, em torno da banda C, para a mesma estrutura.

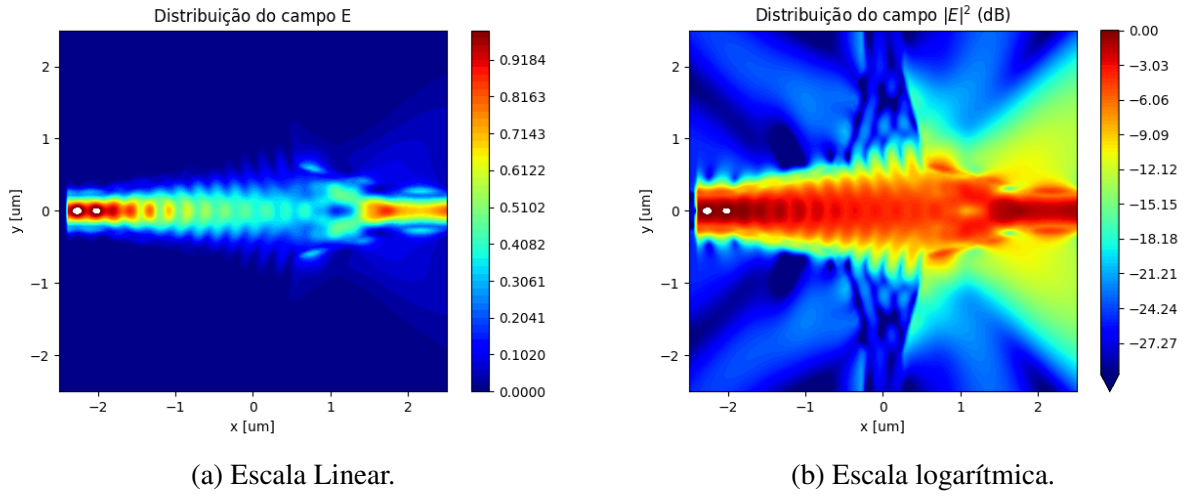


Figura 4: Perfil de Campo Elétrico.

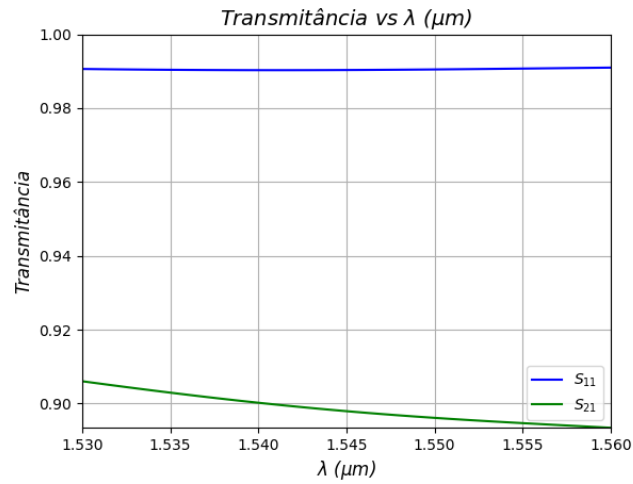


Figura 5: Transmitância.

- Note pelo perfil de campo que não há um bom refinamento, condizendo com o que era esperado, visto que a estrutura não foi otimizada. Por outro lado, mesmo a estrutura não otimizada, não possui tanta perda quanto o que se esperava, visto uma queda de  $T_{in} = 0,99$  para  $T_{out} = 0,88$ , aproximadamente, resultando em uma perda de inserção de  $IL = 1,178(dB)$ .
- Agora, na Figura 6 é ilustrado o mesmo perfil de campo elétrico, porém para a estrutura otimizada (Figura 3a), enquanto que na Figura 7 é ilustrada a transmitância, novamente em torno da banda C.

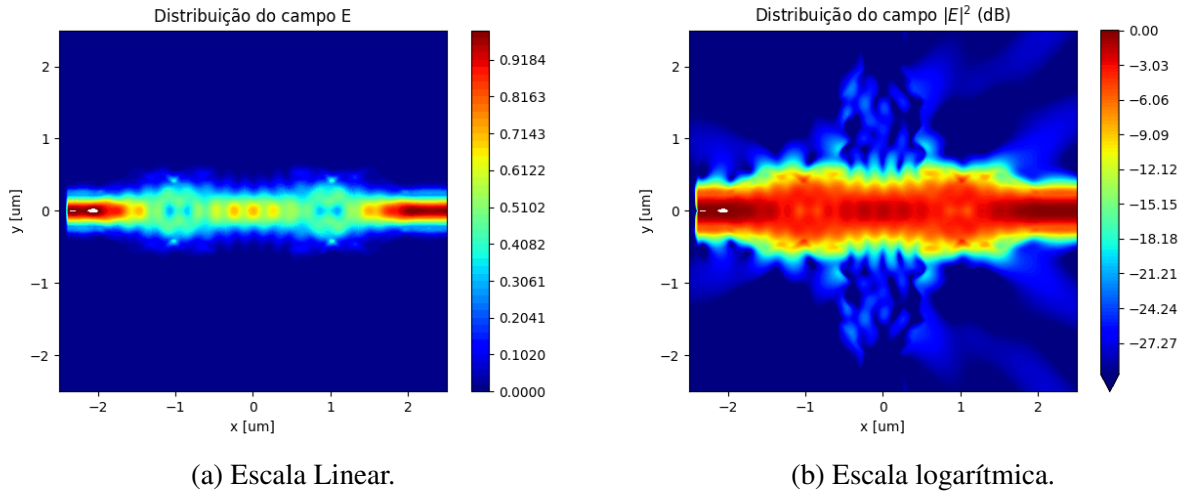


Figura 6: Perfil de Campo Elétrico.

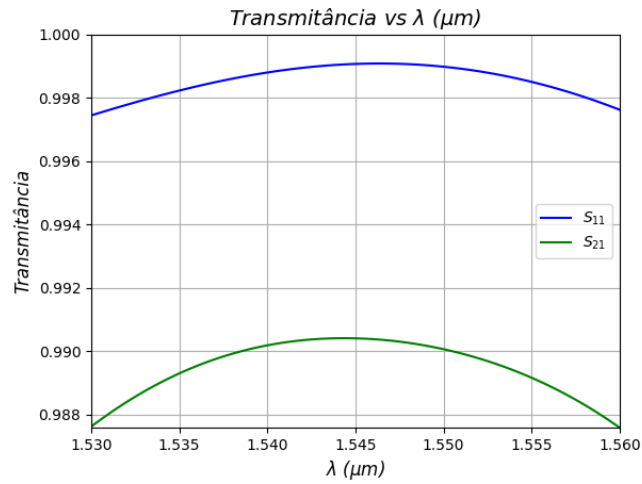


Figura 7: Transmitância.

- Agora é possível notar um melhor confinamento quando comparado ao resultado anterior, apesar de também possuir perdas inerentes ao processo de otimização. Além disso, basicamente não há perda de inserção, visto que a diferença entre  $T_{in}$  e  $T_{out}$  está apenas na terceira casa decimal, pois,  $T_{in} = 0,999$  e  $T_{out} = 0,990$ , aproximadamente, resultando em uma perda de inserção  $IL = 0,090(dB)$ .

#### 2.4.2 Resultados para FDTD - 3D

- Na Figura 8 é ilustrado o perfil de campo elétrico, tanto em escala linear, quanto em (dB) para a estrutura não otimizada, utilizando solver FDTD 3D. Já na Figura 9 é ilustrada a transmitância para a mesma estrutura, em torno da banda C, para a mesma estrutura.

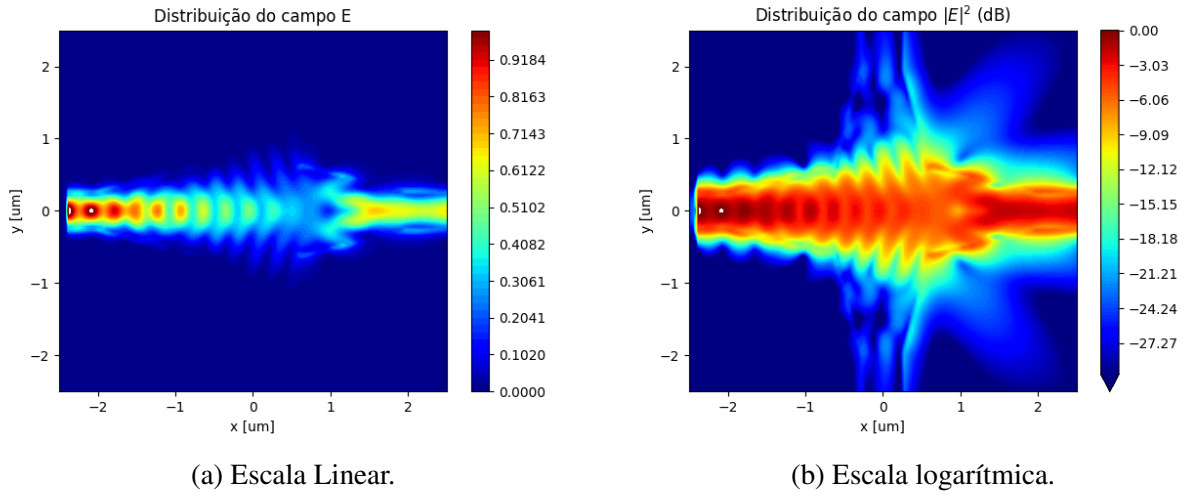


Figura 8: Perfil de Campo Elétrico.

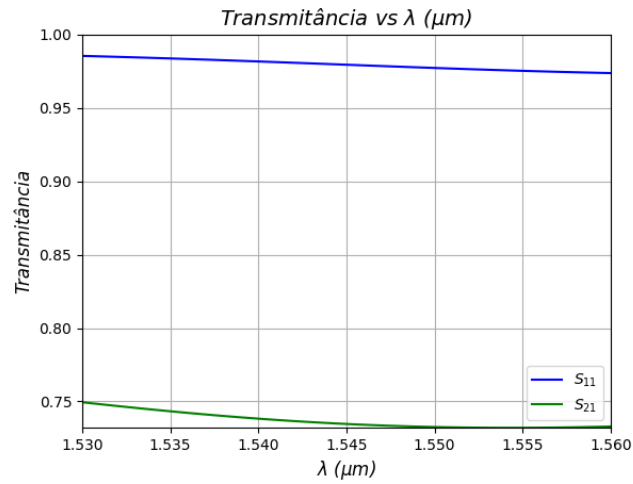


Figura 9: Transmitância.

- Note um comportamento semelhante ao que foi visto para solver FDTD 2D. Nesse caso, é nítido na transmitância que a estrutura não otimizada possui uma perda de inserção bem maior, já que  $T_{in} = 0,98$  e  $T_{out} = 0,71$ , aproximadamente, resultando em uma perda de inserção igual a  $3,22(dB)$ .
- Agora, na Figura 10 é ilustrado o mesmo perfil de campo elétrico, porém para a estrutura otimizada (Figura 3b), enquanto que na Figura 11 é ilustrada a transmitância, novamente em torno da banda C.



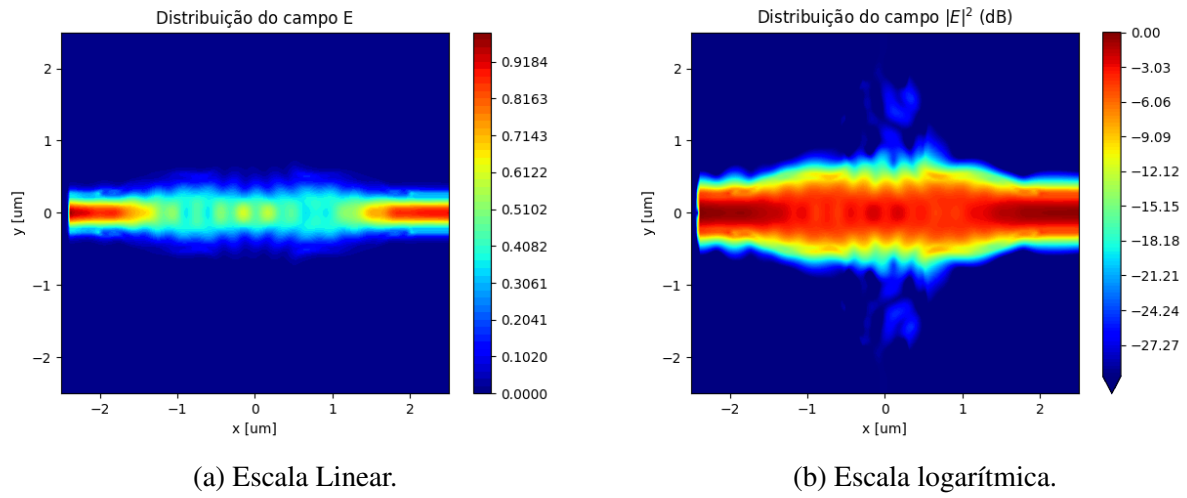


Figura 10: Perfil de Campo Elétrico.

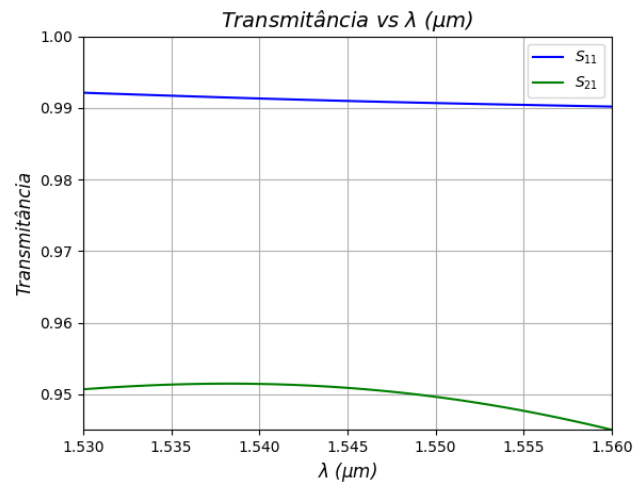


Figura 11: Transmitância.

- Pode-se notar que o confinamento apresentou melhora significativa, bem como a transmitância. Enquanto que  $T_{in} = 0,99$ ,  $T_{out} = 0,95$ , aproximadamente, resultando em uma perda de inserção  $IL = 0,412(dB)$ .

## Referências

Ansys Lumerical. **Inverse design of waveguide crossing**. <https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042305314-Inverse-design-of-waveguide-crossing>. Acessado em: 16 dez. 2024.

TEAM, L. **LumOpt Documentation**. <https://lumopt.readthedocs.io/en/latest/install.html>. Acessado em: 16 dez. 2024.