

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Luiz Henrique Pinto Assunção

# **Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos**

BELÉM – PARÁ

2021



Luiz Henrique Pinto Assunção

## **Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Victor Dmitriev

BELÉM – PARÁ  
2021

Ficha de Identificação da obra elaborada pelo autor,  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

ASSUNÇÃO, L. H. P.

Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos / Luiz Henrique Pinto Assunção. – Belém – Pará, 2021-

53p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Victor Dmitriev

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará, 2021.

1. Palavra-chave01. 2. Palavra-chave02. 2. Palavra-chave03. I. Victor Dmitriev.  
II. Universidade Federal do Pará. III. Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica.  
IV. Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos

CDU 02:141:005.7

Luiz Henrique Pinto Assunção

## **Apredizado de Máquina na Otimização de Dispositivos Nanofotônicos**

Trabalho aprovado. Belém – Pará, 01 de junho de 2021:

---

**Victor Dmitriev**  
Orientador

---

**Nome do Professor Convidado 01**  
Convidado 1

---

**Nome do Professor Convidado 02**  
Convidado 2

**BELÉM – PARÁ**  
**2021**



# DEDICATÓRIA

*Este trabalho é dedicado.*





# AGRADECIMENTOS

Esse trabalho teve o suporte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Universidade Federal do Pará (UFPA).



# EPÍGRAFE

*“O nitrogênio em nosso DNA, o cálcio em nossos dentes,  
o ferro em nosso sangue, o carbono em nossas tortas de maçã...  
Foram feitos no interior de estrelas em colapso,  
agora mortas há muito tempo.  
Nós somos poeira das estrelas.”  
(Carl Sagan – COSMOS, 1980)*



# RESUMO

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

**Palavras-chave:** latex. abntex. publication de textes.



# ABSTRACT

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

**Key words:** latex. abntex. publication de textes.





# ZUSAMMENFASSUNG

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. O texto pode conter no mínimo 150 e no máximo 500 palavras, é aconselhável que sejam utilizadas 200 palavras. E não se separa o texto do resumo em parágrafos.

**Schlüsselwörter:** latex. abntex. publication de textes.



# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Arquitetura de um neurônio artificial. . . . .	30
Figura 2 – Ciclo de trabalho de um projeto em ciência de dados. . . . .	34
Figura 3 – Procedimento de construção do dataset. . . . .	35
Figura 4 – Procedimento de construção do dataset. . . . .	36
Figura 5 – Algoritmo de otimização. . . . .	38
Figura 6 – Geometria do cristal fotônico. . . . .	39



# LISTA DE TABELAS



# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Fig.            Area of the  $i^{th}$  component 30

456            Isto é um número

123            Isto é outro número

lauro cesar    este é o meu nome





# LISTA DE SÍMBOLOS

$\Gamma$	Letra grega Gama
$\Lambda$	Lambda
$\zeta$	Letra grega minúscula zeta
$\in$	Pertence



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>27</b>
<b>1.1</b>	<b>Estado da Arte</b>	<b>27</b>
<b>1.2</b>	<b>Motivação</b>	<b>27</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>27</b>
<b>1.4</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>27</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização do Trabalho</b>	<b>27</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Nanofotônica</b>	<b>29</b>
<b>2.2</b>	<b>Dispositivos Fotônicos</b>	<b>29</b>
2.2.1	Princípio de Funcionamento	29
2.2.2	Resposta em Frequência	29
<b>2.3</b>	<b>Embasamento Teórico</b>	<b>29</b>
2.3.1	Teoria de Grupos	29
2.3.2	Teoria de Modos Acoplados	29
<b>2.4</b>	<b>COMSOL</b>	<b>30</b>
2.4.1	Aspectos Gerais	30
2.4.2	Modelando Dispositivos Nanofotônicos	30
2.4.3	Malha	30
2.4.4	Estudo no Domínio da Frequência	30
2.4.5	Simulação	30
<b>2.5</b>	<b>Machine Learning</b>	<b>30</b>
2.5.1	Redes Neurais Artificiais	30
2.5.2	Fundamentos Biológicos	30
2.5.3	Neurônio Artificial	30
2.5.4	Função de Ativação	31
2.5.5	Algoritmo de Aprendizagem	31
2.5.6	Algoritmo Backpropagation	31
<b>3</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>Visão Geral</b>	<b>33</b>
<b>3.2</b>	<b>Descrição do Problema</b>	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Otimização por Aprendizado Profundo</b>	<b>33</b>
3.3.1	Construção do Banco de Dados	34

3.3.2	Rede Neural Profunda . . . . .	37
3.3.3	Treinamento e Predição . . . . .	37
3.3.4	Procedimento de Otimização . . . . .	37
<b>3.4</b>	<b>Aplicação em Cristal Fotônico 2D . . . . .</b>	<b>38</b>
3.4.1	Princípio de Funcionamento . . . . .	38
3.4.2	Ressonador Dipolo . . . . .	39
3.4.3	Ressonador Quadripolo . . . . .	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>41</b>
4.1	Objetivos . . . . .	41
4.2	Avaliação da Função Custo . . . . .	41
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>43</b>
5.1	Conclusão . . . . .	43
5.2	Sugestões Para Trabalhos Futuros . . . . .	43
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>GLOSSÁRIO . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICE . . . . .</b>	<b>49</b>
7.1	Apêndice A . . . . .	49
7.2	Apêndice B . . . . .	50
<b>8</b>	<b>ANEXOS . . . . .</b>	<b>51</b>
8.1	Anexo A . . . . .	51
8.2	Anexo B . . . . .	52
<b>9</b>	<b>ÍNDICE . . . . .</b>	<b>53</b>

# 1 INTRODUÇÃO

A *nanofotônica* é um ramo da engenharia ótica que estuda o comportamento da luz em escala nanométrica. Compreender esses fenômenos óticos permite construir dispositivos a partir destes nesse contexto, há uma grande linha de pesquisa em dispositivos fotônicos para atuarem em circuitos puramente óticos [1].

## 1.1 Estado da Arte

Nesse contexto da otimização de dispositivos nanofotônicos, alguns estudos emergiram nos últimos anos com essa proposta.

## 1.2 Motivação

A inteligência artificial tem revolucionado muitos campos de estudo. Na engenharia,.

## 1.3 Objetivos

Um dos escopos deste trabalho de conclusão de curso é servir de referência bibliográfica e suporte aos estudos futuros sobre o processo de otimização de dispositivos por meio de *machine learning*.

Como objetivo geral, este trabalho visa.

Como objetivo específico, este trabalho.

## 1.4 Materiais e Métodos

Compõe a metodologia deste trabalho a revisão bibliográfica e os métodos experimentais usados para viabilizar e validar o estudo. Foram usados softwares de simulação numérica e de cálculo numérico.

## 1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está organizado como se segue. O Capítulo. Por fim, no Capítulo 5, as considerações finais desde trabalho. O leitor também poderá consultar os manuscritos dos cálculos de projeto no Apêndice.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Nanofotônica

Parágrafo.

### 2.2 Dispositivos Fotônicos

Parágrafo.

#### 2.2.1 Princípio de Funcionamento

Parágrafo.

#### 2.2.2 Resposta em Frequência

Parágrafo.

### 2.3 Embasamento Teórico

#### 2.3.1 Teoria de Grupos

Parágrafo.

#### 2.3.2 Teoria de Modos Acoplados

Parágrafo.

## 2.4 COMSOL

### 2.4.1 Aspectos Gerais

### 2.4.2 Modelando Dispositivos Nanofotônicos

### 2.4.3 Malha

### 2.4.4 Estudo no Domínio da Frequência

### 2.4.5 Simulação

## 2.5 Machine Learning

Parágrafo.

### 2.5.1 Redes Neurais Artificiais

Parágrafo.

### 2.5.2 Fundamentos Biológicos

Motivação: neurônio biológico.

### 2.5.3 Neurônio Artificial

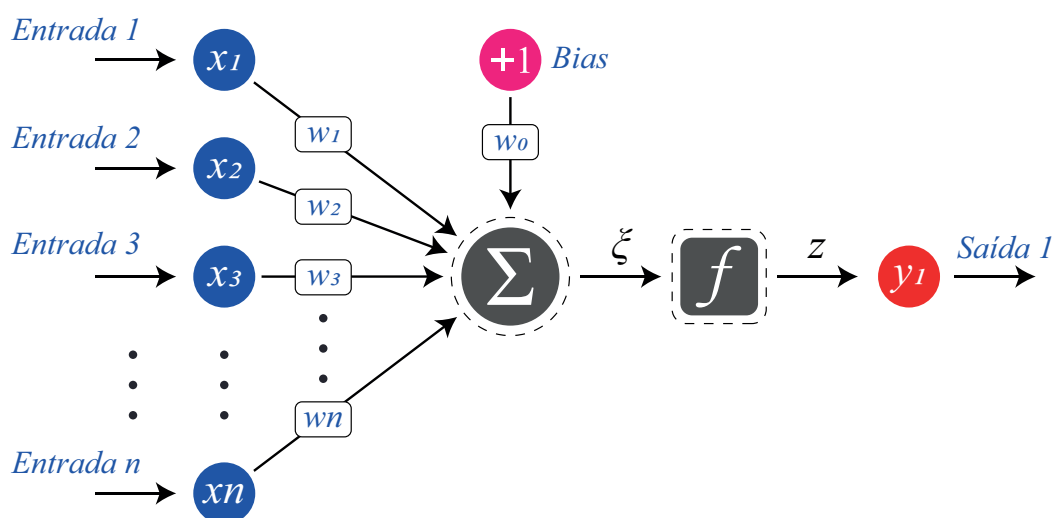


Figura 1 – Arquitetura de um neurônio artificial.

Fonte: do Autor.



#### 2.5.4 Função de Ativação

Parágrafo.

#### 2.5.5 Algoritmo de Aprendizagem

Parágrafo.

#### 2.5.6 Algoritmo Backpropagation

Parágrafo.



## 3 MÉTODO PROPOSTO

Otimizar os dispositivos nanofotônicos requer um trabalho de análise muito cuidadoso e assertivo. Cada simulação computacional pode demandar um tempo.

### 3.1 Visão Geral

Morbi a metus. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Nullam sapien sem, ornare ac, nonummy non, lobortis a, enim. Nunc tincidunt ante vitae massa. Duis ante orci, molestie vitae, vehicula venenatis, tincidunt ac, pede. Nulla accumsan, elit sit amet varius semper, nulla mauris mollis quam, tempor suscipit diam nulla vel leo. Etiam commodo dui eget wisi. Donec iaculis gravida nulla. Donec quis nibh at felis congue commodo. Etiam bibendum elit eget erat.

### 3.2 Descrição do Problema

Morbi a metus. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Nullam sapien sem, ornare ac, nonummy non, lobortis a, enim. Nunc tincidunt ante vitae massa. Duis ante orci, molestie vitae, vehicula venenatis, tincidunt ac, pede. Nulla accumsan, elit sit amet varius semper, nulla mauris mollis quam, tempor suscipit diam nulla vel leo. Etiam commodo dui eget wisi. Donec iaculis gravida nulla. Donec quis nibh at felis congue commodo. Etiam bibendum elit eget erat.

### 3.3 Otimização por Aprendizado Profundo

Maecenas ipsum velit, consectetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.

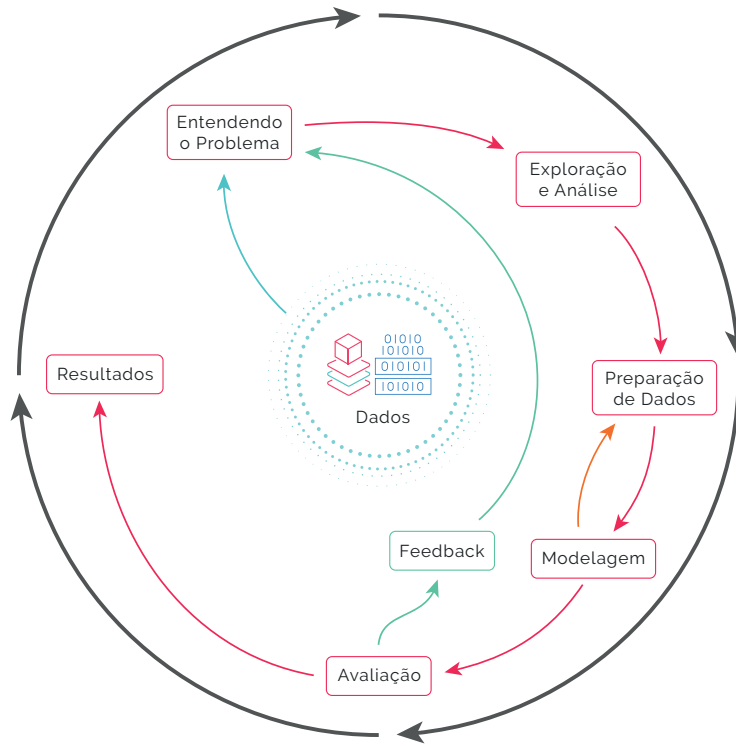


Figura 2 – Ciclo de trabalho de um projeto em ciência de dados.

Fonte: do Autor.

### 3.3.1 Construção do Banco de Dados

O procedimento de otimização por inteligência artificial envolve, primeiramente, coletar os dados do problema e organizá-los em um banco de dados. Estes dados podem ser coletados por meio da API (*Application Programming Interface*, ou ainda em português, Interface de Programação de Aplicativos) que o próprio COMSOL oferece. Uma API permite que aconteça troca de informações entre dois ou mais sistemas. Neste caso, a API *COMSOL LiveLink for MATLAB* permite que o MATLAB possa controlar como as simulações numéricas do COMSOL acontecem, desde o processo de automatizá-las, à triagem desses dados para a construção do banco de dados.

Os dispositivos nanofotônicos são modelados e estudados a partir do software de simulação eletromagnética COMSOL. Nessa etapa, o próprio usuário constrói o dispositivo com as características geométricas e de operação que ele deve ter (como mostrado na Seção 2.4.2 do Capítulo 2 deste documento).

Uma vez que esse estudo esteja estabelecido, o próximo passo é mapear variáveis que modificam a geometria do dispositivo simetricamente, respeitando assim a simetria do problema conforme estabelecido pela *Teoria de Grupos* (ver Seção 2.3 do Capítulo 2). A Fig. mostra como esse processo de mapeamento é implementado.

As mesmas variáveis que modificam simetricamente a geometria do dispositivo

são usadas em um *script* no MATLAB. A ideia por trás desse script é automatizar as simulações em loops de execução. A cada execução o matlab atribui valores randômicos para essas variáveis. Em termos práticos, isso significa que cada simulação de dispositivo terá uma geometria diferente para simular.

Ao final de uma simulação, os dados randômicos de geometria e a respectiva resposta em frequência são exportados em arquivos com a extensão *.txt* e armazenados em uma pasta no computador em um diretório definido também no mesmo script do MATLAB.

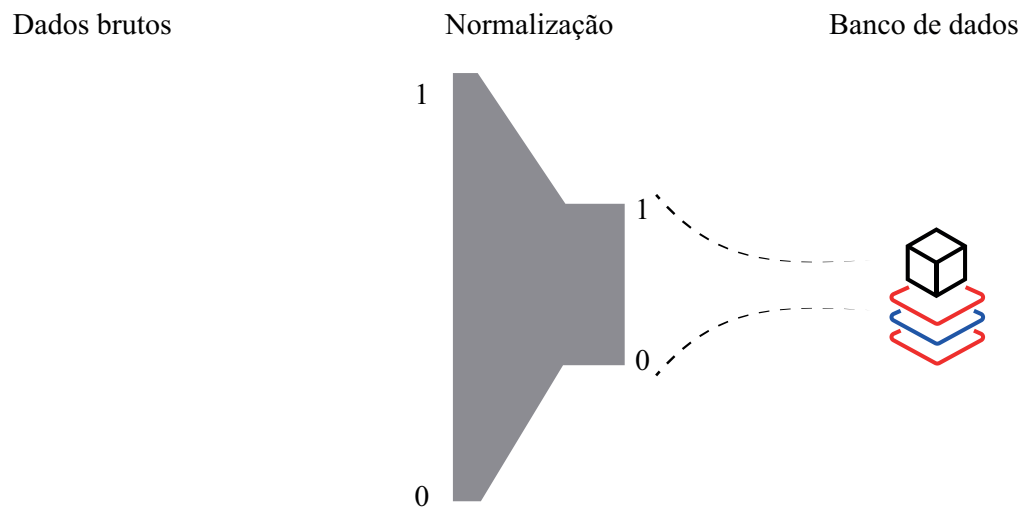


Figura 3 – Procedimento de construção do dataset.

Fonte: do Autor.

Foi desenvolvido também um outro script no MATLAB que é responsável por ler os dados gerados pelas simulações automatizadas. A função desse *script* é ler todos os arquivos de simulação que foram gerados e montar o banco de dados em um único arquivo, onde os dados estão organizados de maneira sequencial (conforme o loop de simulação) e normalizados no intervalo  $0 \dots 1$  (o procedimento de normalização está explicado na Seção deste Capítulo).

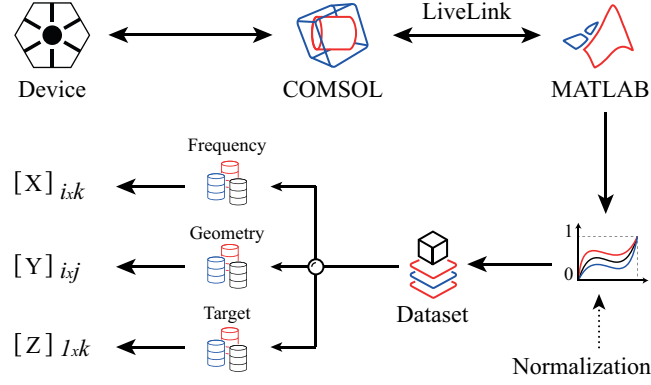


Figura 4 – Procedimento de construção do dataset.

Fonte: do Autor.

Assim, nessa etapa, são gerados três arquivos na extensão *.csv*, cada qual entendidos como tensores, a saber:

- **Resposta em Frequência** – definido pelo tensor  $[X]$ , compreende as amplitudes discretizadas da resposta, sequenciadas linha-a-linha.
- **Geometria** – definido pelo tensor  $[Y]$ , compreende os dados randômicos usados para modificar a geometria.
- **Espectro Desejado** – definido pelo tensor  $[Z]$ , compreende à resposta em frequência desejada para o dispositivo definido pelo próprio projetista do dispositivo.

$$[Y]_{i,j} = \begin{bmatrix} y_{1[1,1]} & y_{2[1,2]} & \cdots & y_{j[1,j]} \\ y_{1[2,1]} & y_{2[2,2]} & \cdots & y_{j[2,j]} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{1[i,1]} & y_{2[i,2]} & \cdots & y_{j[i,j]} \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

where  $j$  is the total number of the variables that modify the device's geometry and  $i$  refers to the number of samples, i. e., the number of instances. The same reasoning applies to the construction of the frequency response dataset, whose are grouped into a tensor defined as:

$$[X]_{i,k} = \begin{bmatrix} x_{1[1,1]} & x_{2[1,2]} & \cdots & x_{k[1,k]} \\ x_{1[2,1]} & x_{2[2,2]} & \cdots & x_{k[2,k]} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1[i,1]} & x_{2[i,2]} & \cdots & x_{k[i,k]} \end{bmatrix}. \quad (3.2)$$

Note that the instance number  $i$  must be the same length for  $[\mathbf{X}]$  and  $[\mathbf{Y}]$ , because geometry and frequency response need to be related. And, finally, the target frequency response is defined as a tensor:

$$[\mathbf{Z}]_{\mathbf{1},\mathbf{k}} = \begin{bmatrix} z_{1[1,1]} & z_{2[1,2]} & \cdots & z_{k[1,k]} \end{bmatrix}. \quad (3.3)$$

As mentioned above, the tensor  $[\mathbf{Z}]$  was made considering the ideal characteristics for the frequency response.

### 3.3.2 Rede Neural Profunda

A Rede Neural Profunda (sigla DNN, em inglês) foi desenvolvida na linguagem de programação Python com a *framework* Tensorflow.

### 3.3.3 Treinamento e Predição

We train the DNN using Adam as an optimization algorithm, with a mean squared error (MSE) as a cost function. The training procedure is made by minimizing the cost function  $C$ , as shown in Eq. 3.4.

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2. \quad (3.4)$$

### 3.3.4 Procedimento de Otimização

Aenean placerat. In vulputate urna eu arcu. Aliquam erat volutpat. Suspendisse potenti. Morbi mattis felis at nunc. Duis viverra diam non justo. In nisl. Nullam sit amet magna in magna gravida vehicula. Mauris tincidunt sem sed arcu. Nunc posuere. Nullam lectus justo, vulputate eget, mollis sed, tempor sed, magna. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Etiam neque. Curabitur ligula sapien, pulvinar a, vestibulum quis, facilisis vel, sapien. Nullam eget nisl. Donec vitae arcu.

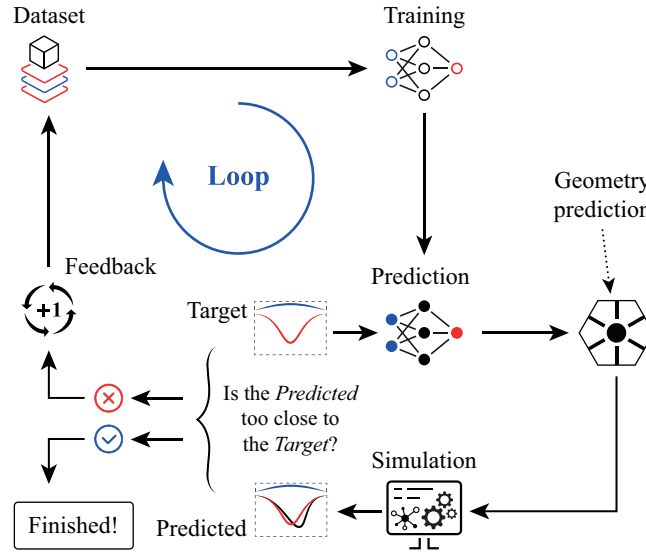


Figura 5 – Algoritmo de otimização.

Fonte: do Autor.

Nam quis nulla. Integer malesuada. In in enim a arcu imperdiet malesuada. Sed vel lectus. Donec odio urna, tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Phasellus rhoncus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Vestibulum fermentum tortor id mi. Pellentesque ipsum. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin in tellus sit amet nibh dignissim sagittis. Vivamus luctus egestas leo. Maecenas sollicitudin. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam egestas wisi a erat.

### 3.4 Aplicação em Cristal Fotônico 2D

Maecenas ipsum velit, consectetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.

#### 3.4.1 Princípio de Funcionamento

Morbi a metus. Phasellus enim erat, vestibulum vel, aliquam a, posuere eu, velit. Nullam sapien sem, ornare ac, nonummy non, lobortis a, enim. Nunc tincidunt ante



vitae massa. Duis ante orci, molestie vitae, vehicula venenatis, tincidunt ac, pede. Nulla accumsan, elit sit amet varius semper, nulla mauris mollis quam, tempor suscipit diam nulla vel leo. Etiam commodo dui eget wisi. Donec iaculis gravida nulla. Donec quis nibh at felis congue commodo. Etiam bibendum elit eget erat.

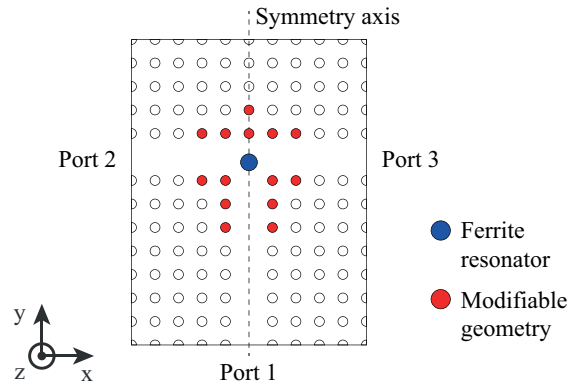


Figura 6 – Geometria do cristal fotônico.

Fonte: do Autor.

### 3.4.2 Ressonador Dipolo

Nam quis nulla. Integer malesuada. In in enim a arcu imperdiet malesuada. Sed vel lectus. Donec odio urna, tempus molestie, porttitor ut, iaculis quis, sem. Phasellus rhoncus. Aenean id metus id velit ullamcorper pulvinar. Vestibulum fermentum tortor id mi. Pellentesque ipsum. Nulla non arcu lacinia neque faucibus fringilla. Nulla non lectus sed nisl molestie malesuada. Proin in tellus sit amet nibh dignissim sagittis. Vivamus luctus egestas leo. Maecenas sollicitudin. Nullam rhoncus aliquam metus. Etiam egestas wisi a erat.

### 3.4.3 Ressonador Quadripolo

Maecenas ipsum velit, consectetur eu, lobortis ut, dictum at, dui. In rutrum. Sed ac dolor sit amet purus malesuada congue. In laoreet, magna id viverra tincidunt, sem odio bibendum justo, vel imperdiet sapien wisi sed libero. Suspendisse sagittis ultrices augue. Mauris metus. Nunc dapibus tortor vel mi dapibus sollicitudin. Etiam posuere lacus quis dolor. Praesent id justo in neque elementum ultrices. Class aptent taciti sociosqu ad litora torquent per conubia nostra, per inceptos hymenaeos. In convallis. Fusce suscipit libero eget elit. Praesent vitae arcu tempor neque lacinia pretium. Morbi imperdiet, mauris ac auctor dictum, nisl ligula egestas nulla, et sollicitudin sem purus in lacus.



## 4 RESULTADOS

### 4.1 Objetivos

Parágrafo.

### 4.2 Avaliação da Função Custo

Parágrafo.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusão

Neste trabalho de pesquisa, foi proposto um procedimento de otimização de dispositivos nanofotônicos com o uso algoritmos em *Machine Learning*.

### 5.2 Sugestões Para Trabalhos Futuros

Dapibus gravida tristique sodales purus condimentum porttitor, aliquam vulputate condimentum donec sapien justo praesent, sociosqu pellentesque dictum eros auctor. odio amet sem pretium eros facilisis curabitur velit tempus sapien, sodales praesent rutrum interdum tincidunt habitant euismod augue, tristique vehicula tempus molestie at quisque erat potenti. lacinia pulvinar class dictumst suspendisse eget etiam, molestie lectus class aenean purus eros primis, quam purus lectus viverra est. ante eget pretium lacus torquent cras ullamcorper neque, elit platea diam nulla potenti class auctor lectus, tempor dapibus a justo aptent rhoncus. praesent aliquet purus felis nostra pellentesque odio quisque praesent porttitor, curae maecenas placerat nostra maecenas erat ac tristique, iaculis porttitor habitant aptent suscipit posuere accumsan curabitur.

Himenaes rutrum augue nec nunc vulputate senectus vel aptent blandit, curae pulvinar gravida enim condimentum pretium ante posuere vehicula, pellentesque ut dolor amet ante cras cubilia neque. laoreet aliquet rutrum eros mattis torquent curae habitasse, pulvinar turpis nulla convallis molestie netus tincidunt, habitant et ut integer inceptos massa. sapien etiam sed posuere viverra ullamcorper rutrum euismod, platea netus imperdiet ultrices feugiat lectus sit, cursus rutrum tincidunt mollis risus ligula. dui quisque sapien tellus curabitur proin lacus proin lorem, magna aliquam adipiscing dictum leo consequat nisl orci, etiam vitae mi eros augue mauris imperdiet.



# REFERÊNCIAS

- [1] L. H. P. Assunção, “Deep learning in photonic crystal optimization.” <https://github.com/luizheinrich/DeepLearning-PhC>, 2021.

Citado na página 27.





## 6 GLOSSÁRIO



## 7 APÊNDICE

### 7.1 Apêndice A

vgvgvcfgc

## 7.2 Apêndice B

vghvygvyg

## 8 ANEXOS

### 8.1 Anexo A

vgvgvcfgc

## 8.2 Anexo B

vghvygvy

## 9 ÍNDICE