

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Luan Willig Silveira

**METODOLOGIA PARA APRIMORAMENTO DE PROCESSAMENTOS DE  
IMAGEM PARA DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS EM  
ISOLADORES**

Santa Maria, RS  
2025

Luan Willig Silveira

**METODOLOGIA PARA APRIMORAMENTO DE PROCESSAMENTOS DE IMAGEM  
PARA DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS EM ISOLADORES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em CNPq, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**. Defesa realizada por videoconferência.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pinheiro Bernardon

Coorientador: Prof. Dr. Paulo César Vargas Luz

Santa Maria, RS  
2025

**Luan Willig Silveira**

**METODOLOGIA PARA APRIMORAMENTO DE PROCESSAMENTOS DE IMAGEM  
PARA DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS EM ISOLADORES**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em CNPq, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Elétrica**.

**Aprovado em 8 de dezembro de 2025:**

---

**Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)**

---

**Paulo César Vargas Luz, Dr. (UFSM)  
(Coorientador)**

---

**Banca Um, Dra. (UFSM)**

---

**Banca Dois, Dr. (UFSM)**

Santa Maria, RS  
2025

## RESUMO

### METODOLOGIA PARA APRIMORAMENTO DE PROCESSAMENTOS DE IMAGEM PARA DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS EM ISOLADORES

AUTOR: Luan Willig Silveira  
Orientador: Daniel Pinheiro Bernardon  
Coorientador: Paulo César Vargas Luz

Escreva seu resumo aqui! Você pode digitá-lo diretamente neste arquivo ou usar o comando input. O resumo deve ter apenas uma página, desde o cabeçalho até as palavras chave. Caso seu resumo seja maior, use comandos para diminuir espaçamento e fonte (até um mínimo de 10pt) no texto. Segundo a MDT, é preciso que os resumos tenham, no máximo, 250 palavras para trabalhos de conclusão de curso de graduação, pós-graduação e iniciação científica e até 500 palavras para dissertações e teses.

**Palavras-chave:** Processamento de Imagens. Redes Neurais Artificiais. Aprendizado de Máquina. Métricas de Qualidade. Classificação de Imagens. Detecção de Objetos. Regressão. Dataset. Combinação de Processamentos. Otimização. Deep Learning. Segmentação de Imagens. Eficiência Computacional. Redes Convolucionais (CNN). Comparação de Modelos. Inteligência Artificial.

## ABSTRACT

### METHODOLOGY FOR IMPROVING IMAGE PROCESSING FOR DETECTING AND CLASSIFYING FAULTS IN INSULATORS

AUTHOR: Luan Willig Silveira  
ADVISOR: Daniel Pinheiro Bernardon  
CO-ADVISOR: Paulo César Vargas Luz

Write your abstract here! As recomendações do resumo também se aplicam ao abstract. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

**Keywords:** Keyword 1. Keyword 2. Keyword 3. (...)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1	PROPOSTA .....	6
1.2	OBJETIVO GERAL .....	7
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
1.4	JUSTIFICATIVA .....	8
1.5	CRONOGRAMA .....	9
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
2.1	PROCESSAMENTO DE IMAGENS .....	11
2.2	DATASETS .....	11
2.3	REDES NEURAIS .....	11
<b>2.3.1</b>	<b>Métricas .....</b>	<b>11</b>
2.4	INFLUÊNCIA DE DATASETS NA PERFORMANCE DOS MODELOS .....	11
2.5	MÉTODOS DE AJUSTE DE PARÂMETROS E COMBINAÇÃO DE PROCES- SAMENTOS .....	12
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>13</b>
3.1	DEFINIÇÃO DAS MÉTRICAS PARA AVALIAR EFICÁCIA DOS PROCESSA- MENTOS .....	13
3.2	ESCOLHA DO TIPO DE MODELO DE REDE NEURAL .....	14
3.3	SELEÇÃO DOS DATASETS PARA AVALIAÇÃO .....	15
3.4	METODOLOGIA PARA COMBINAÇÃO DE PROCESSAMENTOS UNITÁRIOS ..	15
3.5	IMPLEMENTAÇÃO DE UM MÉTODO DE AJUSTE AUTOMÁTICO DE PARÂ- METROS .....	15
3.6	CONSTRUÇÃO DE REDES NEURAIS PARA AVALIAÇÃO DOS PROCESSA- MENTOS .....	15
3.7	TESTES COM DIFERENTES ARQUITETURAS E ANÁLISE DE VARIAÇÕES NOS RESULTADOS .....	15
<b>4</b>	<b>COLETA E ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>16</b>
4.1	IMPACTO DOS MODELOS NO DESEMPENHO DOS PROCESSAMENTOS ....	16
4.2	INFLUÊNCIA DOS DATASETS NOS RESULTADOS .....	16
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO	16
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>17</b>
5.1	SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS .....	17
5.2	LIMITAÇÕES E DESAFIOS ENCONTRADOS .....	17
5.3	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	17
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>18</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 PROPOSTA

O presente estudo tem como objetivo desenvolver uma metodologia capaz de comparar, selecionar, combinar e aprimorar técnicas de processamento de imagem para a detecção e classificação de falhas em cadeias de isoladores. Para isso, serão estabelecidas métricas para avaliar a eficácia dos processamentos de imagem, considerando aspectos como acurácia e tempo de processamento. Além disso, serão construídos modelos de redes neurais para avaliar o desempenho dos processamentos, podendo abranger tarefas como classificação, detecção e regressão. No decorrer do estudo, serão construídos modelos de redes neurais voltados para a avaliação do desempenho das técnicas de processamento de imagem, sem a intenção de definir um modelo ideal.

Também será analisado o impacto da escolha do modelo de rede neural no desempenho do processamento, visto que diferentes modelos podem gerar resultados distintos para um mesmo processamento. A influência do dataset na eficácia do processamento será outro aspecto a ser investigado, considerando possíveis variações nos resultados devido ao uso de diferentes conjuntos de dados. Para aprimorar os processamentos de imagem, será desenvolvida uma metodologia que permita a combinação de diferentes processamentos unitários (processamentos de imagem que realizam uma única operação). Além disso, será criado um método de ajuste automático de parâmetros das técnicas de processamento de imagem, com o intuito de otimizar seus resultados sem exigir extensa intervenção manual.

A metodologia proposta será desenvolvida dentro de um conjunto de restrições previamente estabelecidas, garantindo um escopo bem delimitado e viável dentro do período de realização da dissertação. Primeiramente, o estudo será restrito à detecção e classificação de falhas em cadeias de isoladores elétricos, não abrangendo outros componentes elétricos. O uso de imagens previamente adquiridas será uma diretriz, de modo que apenas imagens já disponíveis ou capturadas por métodos convencionais serão utilizadas, sem o desenvolvimento de novas técnicas de aquisição de imagens. Além disso, a metodologia será aplicada exclusivamente a técnicas de processamento de imagem já conhecidas, sem a criação de novos algoritmos de base.

Os modelos de redes neurais desenvolvidos terão o propósito único de avaliar o impacto das redes sobre os processamentos de imagem, sem a intenção de definir um modelo definitivo para diagnóstico industrial. A análise será conduzida utilizando conjuntos de dados já existentes ou obtidos por métodos convencionais, sem a necessidade de criar um novo dataset específico para o estudo. A otimização contemplada estará limitada ao

ajuste de parâmetros das técnicas existentes, não incluindo o desenvolvimento de novas abordagens baseadas em inteligência artificial para otimização dos processamentos. Por fim, toda a avaliação será realizada em ambiente controlado, sem a realização de testes em ambientes industriais reais.

A Figura 1 ilustra o diagrama da proposta de metodologia.

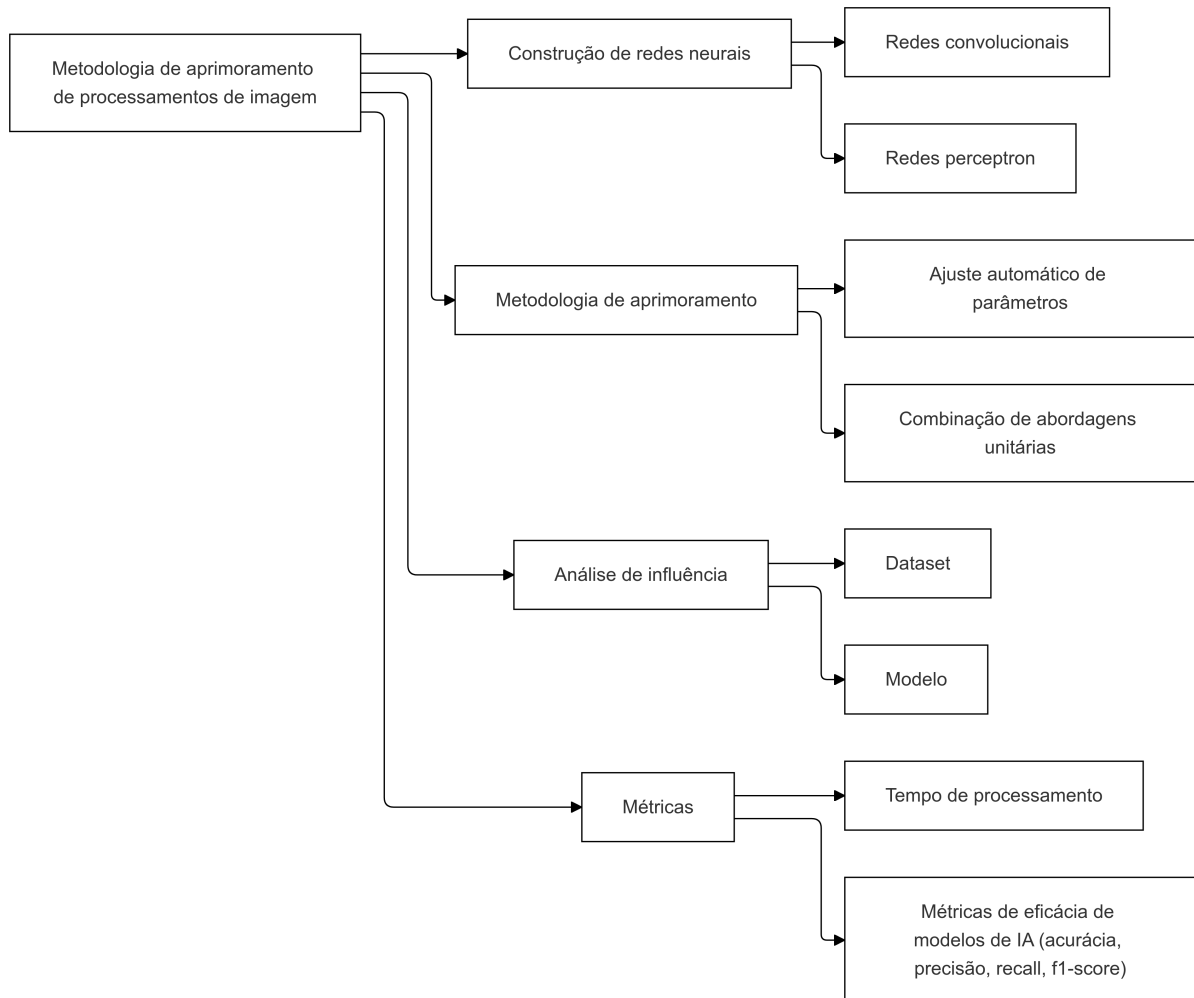


Figura 1 – Diagrama da proposta de metodologia

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é desenvolver uma metodologia capaz de comparar, selecionar, combinar e aprimorar técnicas de processamento de imagem para a detecção e classificação de falhas em cadeias de isoladores.



### 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer métricas para avaliar a eficácia dos processamentos de imagem, considerando aspectos como acurácia e tempo de processamento.
- Determinar o tipo de modelo de redes neurais ideal para avaliar o desempenho dos processamentos, podendo abranger classificação, detecção e regressão.
- Construir modelos de redes neurais destinados à avaliação do desempenho das técnicas de processamento de imagem, sem o intuito de encontrar um modelo definitivo.
- Analisar o impacto da escolha do modelo de rede neural no desempenho do processamento, considerando que diferentes modelos podem gerar diferentes resultados para um mesmo processamento.
- Avaliar a influência do dataset na eficácia do processamento, considerando possíveis variações nos resultados devido à utilização de diferentes conjuntos de dados.
- Desenvolver uma metodologia para o aprimoramento dos processamentos de imagem por meio da combinação de diferentes abordagens unitárias.
- Criar um método de ajuste automático de parâmetros dos processamentos de imagem, visando otimizar seus resultados sem a necessidade de intervenção manual extensa.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por sistemas automatizados de inspeção de cadeias de isoladores evidencia a necessidade de técnicas avançadas de processamento de imagem para a detecção precoce de falhas. Conforme demonstrado por Gonzalez e Woods (GONZALEZ; WOODS, 2008), a análise digital de imagens permite extrair características relevantes para identificar anomalias em componentes elétricos, possibilitando diagnósticos mais precisos. Ademais, o emprego de redes neurais tem se destacado na resolução de problemas complexos de classificação e detecção, conforme ressaltado por LeCun et al. (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015) e Krizhevsky et al. (KRIZHEVSKY; SUTSKEVER; HINTON, 2012), contribuindo para a robustez dos sistemas de inspeção.

Estudos recentes apontam que a combinação de diferentes técnicas de processamento de imagem, aliada ao ajuste automático de parâmetros, pode resultar em melhorias

significativas no desempenho dos sistemas de diagnóstico (LI et al., 2019). Assim, a proposta deste trabalho visa desenvolver uma metodologia que integre esses avanços, buscando não apenas aprimorar a acurácia e a eficiência dos processamentos, mas também possibilitar uma análise comparativa que leve em conta a influência de diferentes modelos e datasets.

Dessa forma, esta dissertação justifica-se pela necessidade de inovar na abordagem de detecção e classificação de falhas em cadeias de isoladores, promovendo ganhos práticos para a segurança e manutenção das redes elétricas, e contribuindo para a evolução do estado da arte em processamento de imagem e aprendizado de máquina.

## 1.5 CRONOGRAMA

A seguir, apresenta-se a estrutura das etapas e subetapas que compõem o desenvolvimento deste trabalho. A lista a seguir organiza os principais tópicos a serem abordados ao longo da pesquisa, detalhando desde a introdução até a conclusão, incluindo as metodologias, a revisão bibliográfica, a implementação dos modelos e a análise dos resultados.

- **1. Introdução**

- Justificativa com apresentação do problema e relevância
- Objetivos gerais e específicos
- Metodologia geral adotada
- Estrutura da dissertação

- **2. Revisão Bibliográfica**

- Processamento de imagens
- Redes neurais para avaliação de processamentos de imagem
- Métricas para análise de desempenho (acurácia, tempo, etc.)
- Influência de datasets na performance dos modelos
- Métodos de ajuste de parâmetros e combinação de processamentos

- **3. Metodologia**

- Definição das métricas para avaliar eficácia dos processamentos
- Escolha do tipo de modelo de rede neural (classificação, detecção, regressão, etc.)

- Seleção dos datasets para avaliação
  - Metodologia para combinação de processamentos unitários
  - Implementação de um método de ajuste automático de parâmetros
- **4. Implementação dos Modelos**
    - Construção de redes neurais para avaliação dos processamentos
    - Testes com diferentes arquiteturas e análise de variações nos resultados
- **5. Coleta e Análise de Resultados**
    - Impacto dos modelos no desempenho dos processamentos
    - Influência dos datasets nos resultados
    - Comparação entre diferentes estratégias de processamento
- **6. Conclusão**
    - Síntese dos resultados obtidos
    - Limitações e desafios encontrados
    - Sugestões para pesquisas futuras

A seguir, é apresentado um cronograma de atividades para garantir a organização e a execução das tarefas.

<b>Etapa</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>
<b>1. Introdução</b>	✓										
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	✓	✓	✓	✓	✓						
<b>3. Metodologia</b>		✓	✓	✓	✓	✓	✓				
<b>4. Implementação dos Modelos</b>						✓	✓				
<b>5. Coleta e Análise de Resultados</b>						✓	✓	✓	✓		
<b>6. Conclusão e Redação Final</b>								✓	✓	✓	
<b>7. Defender</b>											✓

Tabela 1 – Cronograma de Atividades

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

Nesta seção, serão abordados os conceitos fundamentais de processamento de imagens, incluindo técnicas e algoritmos utilizados para a análise e manipulação de imagens digitais. Também será discutida a importância do processamento de imagens no SEP para a detecção e classificação de falhas em equipamentos de linhas de transmissão de energia elétrica.

### **2.2 DATASETS**

Será discutida a influência dos datasets na performance dos modelos de processamento de imagem, considerando a importância da escolha de conjuntos de dados representativos e diversificados para o treinamento e avaliação dos modelos.

### **2.3 REDES NEURAIS**

Aqui, serão discutidos os diferentes tipos de redes neurais aplicáveis ao processamento de imagens, com foco em suas arquiteturas e aplicações específicas para avaliação de desempenho.

#### **2.3.1 Métricas**

Serão apresentadas as principais métricas utilizadas para avaliar a eficácia dos processamentos de imagem, como acurácia, tempo de processamento, precisão, recall, entre outras.

### **2.4 INFLUÊNCIA DE DATASETS NA PERFORMANCE DOS MODELOS**

Esta seção tratará da importância dos datasets na performance dos modelos de processamento de imagem, incluindo a análise de diferentes conjuntos de dados e suas

características.

## 2.5 MÉTODOS DE AJUSTE DE PARÂMETROS E COMBINAÇÃO DE PROCESSAMENTOS

Serão explorados os métodos para ajuste automático de parâmetros e a combinação de diferentes técnicas de processamento de imagem para otimização dos resultados.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 DEFINIÇÃO DAS MÉTRICAS PARA AVALIAR EFICÁCIA DOS PROCESSAMENTOS**

O fluxograma apresentado na Figura 2 descreve o processo de desenvolvimento de uma metodologia para o processamento de imagens. Inicialmente, define-se e desenvolve-se os processamentos necessários, ajustando seus parâmetros e combinando-os para otimizar os resultados. Com isso, são avaliadas as métricas de desempenho para verificar a eficácia das abordagens adotadas. Se os resultados forem satisfatórios, os melhores processamentos são selecionados e o processo é finalizado. Caso contrário, analisa-se o número de tentativas realizadas: se muitas tentativas falhas ocorreram, o processamento é descartado e novas abordagens são consideradas. Se o número de tentativas ainda for baixo, o processo retorna à etapa de ajuste de parâmetros, permitindo novas tentativas até atingir os resultados desejados.

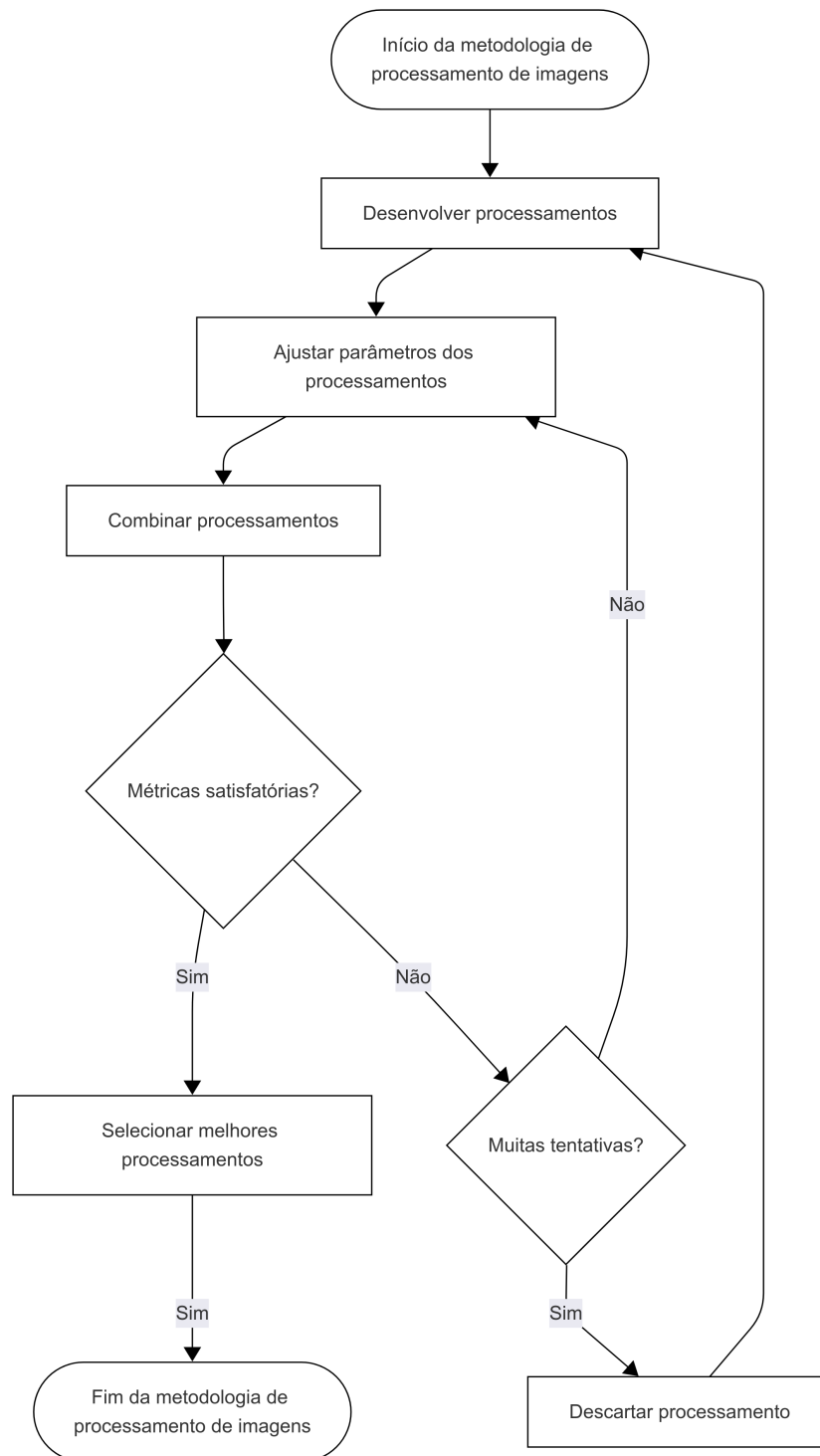


Figura 2 – Fluxograma da metodologia de processamento de imagens

### 3.2 ESCOLHA DO TIPO DE MODELO DE REDE NEURAL

Será discutida a escolha do tipo de modelo de rede neural mais adequado para as tarefas de classificação, detecção e regressão no contexto do estudo.

### 3.3 SELEÇÃO DOS DATASETS PARA AVALIAÇÃO

Serão apresentados os critérios e a seleção dos datasets que serão utilizados para a avaliação dos processamentos de imagem.

### 3.4 METODOLOGIA PARA COMBINAÇÃO DE PROCESSAMENTOS UNITÁRIOS

Aqui, será detalhada a metodologia desenvolvida para combinar diferentes processamentos unitários de imagem visando a melhoria dos resultados.

### 3.5 IMPLEMENTAÇÃO DE UM MÉTODO DE AJUSTE AUTOMÁTICO DE PARÂMETROS

Será descrito o método implementado para ajuste automático de parâmetros das técnicas de processamento de imagem, com o objetivo de otimização sem intervenção manual extensa.

### 3.6 CONSTRUÇÃO DE REDES NEURAIIS PARA AVALIAÇÃO DOS PROCESSAMENTOS

Nesta seção, será detalhada a construção dos modelos de redes neurais utilizados para avaliar os processamentos de imagem.

### 3.7 TESTES COM DIFERENTES ARQUITETURAS E ANÁLISE DE VARIAÇÕES NOS RESULTADOS

Serão apresentados os testes realizados com diferentes arquiteturas de redes neurais e a análise das variações nos resultados obtidos.



## **4 COLETA E ANÁLISE DE RESULTADOS**

### **4.1 IMPACTO DOS MODELOS NO DESEMPENHO DOS PROCESSAMENTOS**

Será analisado o impacto dos diferentes modelos de redes neurais no desempenho dos processamentos de imagem.

### **4.2 INFLUÊNCIA DOS DATASETS NOS RESULTADOS**

Aqui, será discutida a influência dos diferentes datasets nos resultados dos processamentos de imagem.

### **4.3 COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO**

Serão comparadas as diferentes estratégias de processamento de imagem utilizadas no estudo, destacando as vantagens e desvantagens de cada uma.

## **5 CONCLUSÃO**

### **5.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS**

Nesta seção, será feita uma síntese dos principais resultados obtidos ao longo do estudo.

### **5.2 LIMITAÇÕES E DESAFIOS ENCONTRADOS**

Serão discutidas as limitações e os desafios encontrados durante a realização do trabalho.

### **5.3 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS**

Por fim, serão apresentadas sugestões para pesquisas futuras, com base nos resultados e nas limitações identificadas no estudo.

## REFERÊNCIAS

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. 3. ed. [S.l.]: Prentice Hall, 2008.

KRIZHEVSKY, A.; SUTSKEVER, I.; HINTON, G. E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: **Advances in Neural Information Processing Systems**. [S.l.: s.n.], 2012.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. **Nature**, v. 521, n. 7553, p. 436–444, 2015.

LI, X. et al. Fusion of image processing techniques for fault detection in electrical insulators. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 34, n. 3, p. 1234–1241, 2019.