

RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 26/07/2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”



FACULDADE DE ENGENHARIA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

Bruno Soares dos Santos

Detecção de Danos em Estruturas de Concreto Utilizando Fotografias Aéreas Obtidas por VANTs

Ilha Solteira

2024

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Bruno Soares dos Santos

**Detecção de Danos em Estruturas de Concreto
Utilizando Fotografias Aéreas Obtidas por VANTs**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia -
UNESP - Campus de Ilha Solteira, em cumprimento par-
cial dos requisitos para o grau de Mestre em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Domingues Bueno

Ilha Solteira

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S237d Santos, Bruno Soares dos.
Detecção de danos em estruturas de concreto utilizando fotografias aéreas obtidas por VANTs / Bruno Soares dos Santos. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
70 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Mecânica dos Sólidos, 2024

Orientador: Douglas Domingues Bueno

Inclui bibliografia

1. Monitoramento da integridade estrutural. 2. Veículo Aéreo Não Tripulado.
3. Processamento de imagens. 4. Inteligência artificial.


Amanda Sertori dos Santos
Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

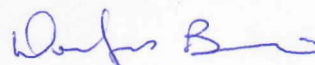
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DETECÇÃO DE DANOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO UTILIZANDO FOTOGRAFIAS AÉREAS OBTIDAS POR VANT'S

AUTOR: BRUNO SOARES DOS SANTOS

ORIENTADOR: DOUGLAS DOMINGUES BUENO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em null, área: Mecânica dos Sólidos pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. DOUGLAS DOMINGUES BUENO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

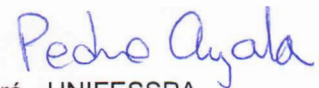


Profa. Dra. THAYS APARECIDA DE ABREU SANTOS (Participação Virtual)
Departamento de Matemática / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNE



Documento assinado digitalmente
THAYS APARECIDA DE ABREU SANTOS
Data: 14/08/2024 11:33:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. PEDRO CHRISTIAN AYALA CASTILLO (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará - UNIFESSPA



Ilha Solteira, 26 de julho de 2024

*À minha mãe Reinilda Soares,
pois sem o seu apoio e carinho, nada disto seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente, agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, Reinilda Soares e Domingos Dantas, pelo amor e apoio incondicional. Aos meus queridos irmãos, Diego e Thiago Soares, pelo incentivo e companhia em todos os momentos.

Aos meus colegas do Grupo de Materiais e Sistemas Inteligentes (GMSINT) e do Laboratório de Sistemas Avançados (Lab-SA), Renan Sanches, Bianca Carnielo, Lorena L. Dias, Renan Cavenaghi, Vítor Marchiori e Samuel Souza, pelo suporte e amizade durante esta jornada.

Aos professores Carlos R. dos Santos Jr., Camila G. Gonzalez Bueno, Rodrigo B. Santos, Leandro Salviano e Samuel da Silva, por seu apoio e colaboração durante o meu mestrado.

Um agradecimento especial à professora Ruxandra M. Botez, que me orientou durante meu estágio no Canadá, proporcionando uma experiência enriquecedora e indispensável para meu crescimento profissional.

Aos amigos que estiveram comigo no Canadá, Ana Carolina Rodrigues, Caio Marcon, Aline P. Marçal, Marco A. Assis e Elson Correia Jr. , pela amizade, apoio e momentos inesquecíveis que compartilhamos.

Na vida, há poucas pessoas que são verdadeiramente essenciais e que nos ajudam a abrir portas importantes. Entre elas, destaco o professor orientador Douglas D. Bueno. Sua orientação, amizade e paciência foram fundamentais para a concretização deste trabalho, e por isso, sou imensamente grato.

Agradeço à Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) e à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), pelo apoio, infraestrutura e oportunidades que me foram apresentadas. A cada professor, colaborador e aluno que contribuíram para meu desenvolvimento acadêmico e profissional. Em especial, aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq. Processo número 403955/2022-0.

A todos, meu sincero agradecimento.

*”Embora ninguém possa voltar
atrás e fazer um novo começo,
qualquer um pode começar agora
e fazer um novo fim.”*

James R. Sherman

RESUMO

Este estudo apresenta uma abordagem para a inspeção de obras de arte especiais (OAE), como pontes, utilizando veículos aéreos não tripulados (VANTs) e técnicas avançadas de Inteligência Artificial. O objetivo é aprimorar a segurança e reduzir custos na manutenção de infraestruturas de concreto. Desenvolveu-se uma metodologia detalhada de captura de imagens, garantindo a obtenção de dados precisos e confiáveis. O método proposto emprega um banco de dados de imagens representativo, com 19.659 imagens de estruturas com e sem danos, para treinar algoritmos eficientes na detecção de fissuras e outros defeitos. A investigação dos métodos de pré-processamento revela que o filtro Gaussiano apresenta o melhor desempenho em aumentar a eficiência dos métodos de classificação. Na detecção de bordas, o método Sobel se destaca. As Redes Neurais Convolucionais (CNN) foram utilizadas na identificação de trincas, demonstrando uma acurácia de 90,31%, F1-Score de 90,50% e precisão de 91,00%, superando técnicas tradicionais de classificação, como Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) e Regressão Logística. A análise da influência da quantidade de imagens reforçou a importância de uma distribuição equilibrada para otimizar o desempenho do modelo. Como resultado final, tem-se a elaboração de códigos computacionais para a análise automática das imagens capturadas e a criação de um protocolo de vistoria aérea otimizado, visando a manutenção eficiente e precisa de infraestruturas críticas.

Palavras-chave: monitoramento da integridade estrutural; veículo aéreo não tripulado; processamento de imagens; inteligência artificial.

ABSTRACT

This study presents an approach for the inspection of engineering structures, such as bridges, using unmanned aerial vehicles (UAVs) and advanced artificial intelligence techniques. The objective is to enhance safety and reduce costs in the maintenance of concrete structures. A detailed image capture methodology was developed, ensuring the acquisition of precise and reliable data. The proposed method employs a representative image database, with 19,659 images of structures with and without damage, to train efficient algorithms in the detection of cracks and other defects. The investigation of preprocessing methods reveals that the Gaussian filter presents the best performance in increasing the efficiency of classification methods. In edge detection, the Sobel method stands out. Convolutional Neural Networks (CNN) were used in the identification of cracks, demonstrating an accuracy of 90.31%, an F1-Score of 90.50%, and a precision of 91.00%, surpassing traditional classification techniques such as Support Vector Machines (SVM) and Logistic Regression. The analysis of the influence of the number of images reinforced the importance of a balanced distribution to optimize the model's performance. As a final result, computational codes were developed for the automatic analysis of the captured images and the creation of an optimized aerial inspection protocol, aiming at efficient and precise maintenance of critical structures.

Keywords: structural integrity monitoring; unmanned aerial vehicle; image processing; artificial intelligence.

LISTA DE FIGURAS

1	Fluxograma do processo de pré-processamento de imagens.	25
2	Modelos de bordas: degrau, rampa e telhado, da esquerda para a direita. . . .	30
3	Experimento de captura de imagem com VANT.	43
4	Imagem composta ilustrando quatro configurações diferentes: variações em altitude, presença de sombra, ângulo de inclinação da câmera e velocidade de voo.	44
5	Corpos de prova segmentados em regiões de interesse.	44
6	Fluxograma do processo de avaliação dos filtros de suavização.	45
7	Resultados das Métricas de Regressão Logística com Diferentes Filtros de Suavização	46
8	Acertos e Erros em Percentagem para Diferentes Filtros de Suavização	46
9	Acurácia Média e Acurácia Geral para Diferentes Filtros de Suavização	47
10	Curvas ROC para Regressão Logística com Diferentes Filtros de Suavização . .	47
11	Fluxograma do processo de avaliação das técnicas de detecção de bordas. . . .	48
12	Comparação de Acurácia Geral e Média para Diferentes Métodos de Detecção de Borda	50
13	Soma de Acertos e Erros dos Métodos de Detecção de Bordas	51
14	Especificidade dos Métodos de Detecção de Bordas	51
15	Sensibilidade dos Métodos de Detecção de Bordas	52
16	Comparação das Curvas ROC para Diferentes Filtros de Suavização	52
17	Comparação de métricas de avaliação entre CNN, Regressão Logística e SVM .	54
18	Acertos e Erros em Percentagem para Diferentes Métodos de Classificação . . .	55
19	Comparação das Curvas ROC para CNN, SVM e Regressão Logística	55
20	Comparação das Métricas de Desempenho entre os <i>Datasets</i>	56
21	Média de Acertos e Erros em Percentagem para Diferentes Conjuntos de Dados	58
22	Comparação da Acurácia Geral e Acurácia Média	58
23	Comparação das Curvas ROC para Diferentes <i>Datasets</i>	59
24	Curvas de Aprendizado da Acurácia Comparativas para Três <i>Datasets</i>	59
25	Curvas de Aprendizado da Perda Comparativas para Três <i>Datasets</i>	60

LISTA DE TABELAS

1	Classificação das fissuras.	22
2	Matriz de Confusão	23
3	Configurações de voo utilizadas no experimento.	42
4	Matriz de Confusão em Percentagem para SVM com Diferentes Filtros de Suavização	46
5	Desempenho dos Métodos de Detecção de Bordas	49
6	Matrizes de Confusão com Percentuais para Diferentes Métodos	50
7	Detalhes da Arquitetura CNN	53
8	Comparação da Matriz de Confusão em Percentagem	54
9	Matriz de Confusão em Percentagens para Todos os Conjuntos de Dados	57

LISTA DE SÍMBOLOS

Δ	Número de pixels deslocados devido ao efeito <i>rolling shutter</i>
μ_1	Média dos níveis de cinza na área de interesse
μ_2	Média dos níveis de cinza na área de fundo
μ_2	Média dos níveis de cinza na área de fundo
σ	Desvio padrão da distribuição gaussiana
σ_1	Variação padrão das intensidades de pixel na área de interesse
σ_2	Variação padrão das intensidades de pixel na área de fundo
θ	Ângulo de orientação do vetor gradiente
B	Canal de Cor Negativo
d	Diâmetro da abertura da lente em mm
E	Exposição em Joules (J) mm^{-2}
e	Base do logaritmo natural, aproximadamente igual a 2.71828
FN	Falso Negativo
FP	Falso Positivo
FR	Distância focal
F	Imagem fonte
f	Comprimento focal da lente em mm
G	Canal de Cor Verde
G_x	Matriz gradiente com orientação horizontal
G_y	Matriz gradiente com orientação vertical

h	Altura do voo
Im_h	Altura da imagem em pixels
i	Distância entre a lente e o plano da imagem
m₁	Média de intensidade para os pixels do conjunto G₁
m₂	Média de intensidade para os pixels do conjunto G₂
o	Distância entre a lente e o objeto a ser fotografado
p	Ponto específico na imagem cuja intensidade é analisada
P₁	Probabilidade de aparição dos pixels na área de interesse
P₂	Probabilidade de aparição dos pixels na área de fundo
R	Canal de Cor Vermelho
S_h	Altura do sensor
s	Brilho da cena intrínseca em $\text{J mm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$
T_o	Tempo de abertura do obturador
T	Limiar ótimo
t	Tempo de exposição em segundos
VN	Verdadeiro Negativo
VP	Verdadeiro Positivo
V	Velocidade do VANT
v	Área local em volta de um ponto na imagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS DO TRABALHO	16
1.2	CONTRIBUIÇÕES ALCANÇADAS	17
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	17
2	METODOLOGIA GERAL E FUNDAMENTOS	18
2.1	ASPECTOS PRINCIPAIS RELATIVOS ÀS FOTOGRAFIAS AÉREAS	19
2.1.1	Fotogrametria	19
2.1.2	Exposição à Luz	19
2.1.3	Sensibilidade ISO	19
2.1.4	Distância Focal	20
2.1.5	Abertura da Lente	20
2.1.6	Velocidade do Obturador	20
2.2	DANOS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	21
2.3	MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO	21
2.4	PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS	24
2.4.1	Métodos de Conversão para Escala de Cinza	25
2.4.2	Filtros de Suavização de Ruídos	25
2.4.3	Deteção de Borda	29
3	MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO UTILIZANDO INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	36
3.1	REGRESSÃO LOGÍSTICA EM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	36
3.2	MÉTODO <i>SUPPORT VECTOR MACHINE</i> (SVM)	37
3.3	MÉTODO DE REDES NEURAIS CONVOLUCIONAIS (CNNS)	38
3.3.1	Ativação Sigmoide	38
3.3.2	Dropout	39

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1	CRIAÇÃO DO <i>DATASET</i> COM IMAGENS CAPTURADAS POR VANTS . .	41
4.2	ANÁLISE COMPARATIVA DE FILTROS DE SUAVIZAÇÃO	45
4.3	AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE BORDAS	48
4.4	COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	53
4.5	ANÁLISE DA QUANTIDADE DE IMAGENS PARA DETECÇÃO DE TRINCAS	56
5	CONCLUSÃO	61
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A detecção de danos em estruturas de concreto, especialmente as de grande porte, tipicamente envolve importante esforço de engenharia, principalmente devido a dificuldades de acessar regiões específicas. Em particular, o monitoramento de prédios, viadutos e pontes, geralmente envolve avaliações visuais, realizadas por profissionais experientes, implicando em reduzida produtividade. Por outro lado, o crescente uso de VANTs (Veículos Aéreos Não-tripulados), em diversas aplicações de engenharia, tem demonstrado um importante potencial, especialmente com foco em redução de riscos relativos à segurança de equipes, bem como por redução de custos operacionais. Em particular, o uso de VANTs para detectar defeitos em estrutura de concreto oferece interessante vantagem, apesar de questões técnicas, em termos de planejamento e execução de voos para obtenção de imagens das estruturas, bem como pelo potencial de aplicação de técnicas de pós-processamento de imagens com foco em detecção de danos.

Neste contexto, Mohan e Poobal (2018) destacam a importância da detecção automática de fissuras em concreto como alternativa à inspeção manual, que é limitada pela subjetividade e experiência do inspetor. Eles realizaram uma revisão abrangente de técnicas de processamento de imagem para identificar desafios e conquistas nessa área. Flah, Suleiman e Nehdi (2020) propõem um modelo de inspeção quase automatizado para estruturas de concreto, combinando processamento de imagem e aprendizado profundo, alcançando alta precisão na classificação de defeitos. Ruiz *et al.* (2021) exploram a aplicação de técnicas de aprendizado profundo na detecção automática de fissuras em revestimentos cerâmicos, demonstrando viabilidade técnica e benefícios em termos de custo e segurança. Dais *et al.* (2021) examinam técnicas de aprendizado profundo para detecção de fissuras em muros de alvenaria, atingindo alta precisão e pontuação F1. Zhang (2014) desenvolvem um algoritmo de detecção de fissuras em superfícies de vidro baseado em processamento de imagem digital, obtendo informações de identificação precisas para avaliar a integridade estrutural.

Kim *et al.* (2018) focam na inspeção de pontes usando VANTs com sensores de visão de alta performance. Eles propuseram um método de identificação de fissuras em uma ponte de concreto envelhecida, utilizando aprendizado profundo e transferência de aprendizado, com resultados promissores. Hoang e Nguyen (2018) desenvolvem um método de processamento de imagens para detecção automática de fissuras em paredes de concreto, utilizando algoritmos de detecção de bordas e otimização meta-heurística, alcançando alta precisão. Simões, Rodrigues e Pinheiro (2021) discutem a importância dos VANTs em diversas áreas, enfatizando a necessidade de planejamento de rotas confiáveis para garantir a segurança nas operações de inspeção. Lei *et al.* (2018) abordam as limitações das técnicas tradicionais de detecção de fissuras em imagens coletadas por VANTs, propondo um novo método baseado no ponto central da fissura para identificação rápida e precisa. Reagan, Sabato e Niezrecki (2018) exploram uma abordagem inovadora que combina VANTs com correlação de imagem digital tridimensional para monitorar

a saúde de pontes, demonstrando a capacidade de detectar mudanças estruturais com alta precisão.

Lee *et al.* (2021) propõem uma metodologia para lidar com problemas de qualidade de imagem em inspeções de pontes usando VANTs, destacando técnicas para avaliação e melhoria da qualidade da imagem. Zhang *et al.* (2020) apresentam uma nova abordagem para a identificação de fissuras superficiais em áreas de mineração utilizando imagens de VANT, empregando algoritmos de aprendizado de máquina e técnicas avançadas de processamento de imagem. Simões, Rodrigues e Pinheiro (2021) oferecem uma análise crítica das metodologias de inspeção de pontes, ressaltando a necessidade de melhorias para uma avaliação mais objetiva e eficaz. Fujita, Mitani e Hamamoto (2006) e Cha, Choi e Büyüköztürk (2017) contribuem para essa discussão com métodos inovadores para detecção automática de fissuras em estruturas de concreto, empregando algoritmos avançados e redes neurais convolucionais para aumentar a precisão e eficiência das inspeções.

Neste contexto, esta dissertação apresenta uma metodologia integrada de monitoramento de integridade de estruturas de concreto utilizando imagens obtidas por VANTs e técnicas de Inteligência Artificial. A criação de um banco de dados (ou *dataset*, em inglês) de alta qualidade com 19.659 imagens, balanceando a quantidade de imagens com e sem trincas, é empregada para o treinamento dos modelos. A investigação abrangeu desde a coleta de dados com VANTs até a aplicação de técnicas de Inteligência Artificial para a detecção de trincas em estruturas de concreto. No pré-processamento, diferentes filtros são avaliados para melhorar a qualidade das imagens, enquanto diversas técnicas de detecção de bordas foram testadas para identificar as trincas de forma eficaz. A análise comparativa dos métodos de Inteligência Artificial, incluindo Redes Neurais Convolucionais (CNN), Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) e Regressão Logística, visou determinar a técnica mais eficiente para a classificação das imagens. A influência da quantidade de imagens do conjunto de dados também foi estudada para otimizar o desempenho dos modelos. Esses esforços integrados são fundamentais para aprimorar a precisão e a eficiência na detecção de trincas, contribuindo para a segurança e durabilidade das infraestruturas, além de melhorar os métodos de monitoramento da integridade estrutural (em inglês *Structural Health Monitoring* -SHM).

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver uma metodologia de monitoramento de integridade de estruturas de concreto utilizando imagens obtidas por VANTs.

Destacam-se entre os objetivos específicos:

- Determinar uma adequada sequência de pré-processamento de imagens;
- Aplicar uma técnica de inteligência artificial de segmentação de imagens para detecção de danos estruturais;
- Avaliar como se relacionam as características da câmera fotográfica embarcada com a condição de voo, visando obter imagens aéreas com qualidades adequadas.

1.2 CONTRIBUIÇÕES ALCANÇADAS

A principal contribuição desta pesquisa de mestrado é a proposição de um método vistoria e inspeção de estruturas de concreto ou obras de arte especiais (OAE).

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A presente seção apresenta a organização deste documento. Destacam-se a motivação geral, objetivos, metodologia utilizada, resultados obtidos e as considerações finais, conforme destaque a seguir:

- **Capítulo 1: Introdução**

- Apresentação da área de estudo, importância e motivações. Definição dos objetivos da pesquisa.

- **Capítulo 2: Metodologia**

- Descrição da metodologia de pesquisa e revisão da literatura relevante.

- **Capítulo 3: Classificação com Inteligência Artificial**

- Análise de métodos de classificação via inteligência artificial em imagens de VANTs.

- **Capítulo 4: Resultados e Discussões**

- Apresentação e análise dos resultados, discussões com base na metodologia e teoria.

- **Capítulo 5: Conclusão**

- Resumo das descobertas, contribuições e limitações.

5 CONCLUSÃO

A detecção de trincas em estruturas de concreto é crucial para o monitoramento de integridade estrutural (SHM), garantindo a segurança e durabilidade de infraestruturas essenciais como pontes, túneis e edifícios. Se não detectadas precocemente, trincas podem levar a falhas estruturais significativas, resultando em altos custos de reparo e riscos à segurança pública. Este estudo propôs uma abordagem combinando o uso de veículos aéreos não tripulados (VANTs) com técnicas avançadas de Inteligência Artificial para aprimorar a precisão e eficiência na detecção de trincas.

Os principais objetivos desta pesquisa foram determinar uma sequência adequada de pré-processamento de imagens e aplicar uma técnica de inteligência artificial eficaz para a segmentação de imagens visando à detecção de danos estruturais. Todos os objetivos foram alcançados, resultando em contribuições significativas para a área de SHM.

A coleta de imagens aéreas foi realizada utilizando o VANT DJI Phantom 3 Standard, que se mostrou eficaz na criação de um *dataset* diversificado e abrangente. A criação de um *dataset* de qualidade é fundamental para o treinamento e validação de algoritmos de detecção de trincas. Com a aplicação de técnicas de aumento de dados, foi gerado um total de 19.600 imagens, equilibrando a quantidade de imagens com e sem trincas, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento de algoritmos de detecção.

Na etapa de pré-processamento, a investigação dos filtros de suavização revelou que o filtro Gaussiano foi o mais eficaz, superando os filtros de Média e Mediana. O filtro Gaussiano apresentou melhor desempenho em métricas-chave como acurácia (71,13%), F1-Score (71,07%), precisão (72,60%) e especificidade (73,00%). Além disso, a taxa de acertos foi a maior (35,57%), enquanto a taxa de erros foi a menor (14,43%), destacando-se como a escolha mais eficaz para melhorar a qualidade das imagens e facilitar a detecção de trincas.

A análise das técnicas de detecção de bordas indicou que o método Sobel era o mais eficaz para identificar trincas em imagens de concreto. O método Sobel apresentou as melhores métricas de acurácia (71,03%), F1-Score (71,53%) e AUC (0,77), além de uma alta sensibilidade (71,44%) e especificidade (70,61%). Este método também obteve a maior taxa de acertos (71,11%) e a menor taxa de erros (28,89%), tornando-se a opção mais confiável para o pré-processamento das imagens.

Na comparação das técnicas de Inteligência Artificial, as Redes Neurais Convolucionais (CNN) superaram significativamente as Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) e a Regressão Logística. A CNN alcançou a maior acurácia (90,31%), F1-Score (90,50%) e precisão (91,00%), destacando-se como a técnica mais eficaz e confiável para a detecção de trincas. As curvas ROC e as matrizes de confusão corroboraram esses resultados, com a CNN apresentando uma

sensibilidade de 90,50% e especificidade de 90,00%. A taxa de acertos foi a mais alta, enquanto a taxa de erros foi a menor, evidenciando a capacidade da CNN em minimizar falsos positivos e falsos negativos.

Finalmente, a análise da influência da quantidade de imagens do *dataset* destacou a importância de uma distribuição equilibrada para otimizar o desempenho da CNN. A Configuração do Conjunto de Dados 3, com uma distribuição balanceada, obteve a maior acurácia (90,31%), maior precisão (95,00%) e uma sensibilidade de 85,00%, além de apresentar a menor média de erros (4,50%) e a maior média de acertos (95,50%). Essas descobertas reforçam a eficácia de uma composição balanceada do *dataset* para melhorar a precisão e a robustez do modelo.

Em particular, este estudo a viabilidade e a eficácia do uso de VANTs na inspeção de estruturas de concreto, e também forneceu uma metodologia detalhada e comprovada para o desenvolvimento de algoritmos de detecção de trincas. A abordagem integrada de coleta de dados, pré-processamento de imagens e aplicação de técnicas de Inteligência Artificial resultou em um sistema de monitoramento de alta precisão, eficiência e custo-benefício. Essas contribuições representam um avanço significativo na modernização dos métodos de SHM, promovendo maior segurança e durabilidade das infraestruturas.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção são apresentadas sugestões para trabalhos futuros, visando a continuidade da pesquisa:

- **Desenvolvimento de Modelos 3D:** Implementar técnicas de reconstrução 3D para criar modelos detalhados das estruturas de concreto, permitindo uma visualização e análise mais precisa das trincas e outros defeitos estruturais.
- **Classificação de Tipos de Danos:** Desenvolver algoritmos que não apenas detectem a presença de danos, mas também classifiquem os tipos de defeitos, como vergalhão exposto, trincas, infiltrações por umidade, entre outros.
- **Análise com Diferentes Modelos de VANTs e Câmeras:** Realizar estudos utilizando diversos modelos de VANTs e tipos de câmeras para avaliar a influência das especificações técnicas dos equipamentos na qualidade da detecção e classificação de trincas.
- **Treinamento com Múltiplos *datasets*:** Ampliar o treinamento dos modelos de inteligência artificial com diferentes *datasets*, incluindo imagens de asfalto, trilhos de ferrovias, entre outros, para verificar a robustez e a generalização dos algoritmos em diversas aplicações.
- **Avaliação de Técnicas de Fusão de Dados:** Investigar técnicas de fusão de dados para combinar informações de imagens aéreas com dados de outras fontes, como sensores de vibração ou medições geotécnicas, a fim de proporcionar uma análise mais completa e precisa da saúde estrutural.

REFERÊNCIAS

ABER, J. S.; MARZOLFF, I.; RIES, J. B. **Small Format Aerial Photography. Principles, Techniques and Geoscience Applications**. 1. ed. Emporia, KS, USA: Elsevier Science, 2010. 261 p. ISSN 2060-3274. ISBN 9780444532602.

AFIFI, M. *et al.* Learning multi-scale photo exposure correction. In: **Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)**. Nashville, TN, USA: IEEE, 2021. p. 9153–9163. ISBN 978-1-6654-4509-2. ISSN 1063-6919.

AHMAD, I.; MOON, I.; SHIN, S. J. Color-to-grayscale algorithms effect on edge detection - a comparative study. In: **2018 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)**. Honolulu, HI, USA: IEEE, 2018. DOI: 10.23919/ELINFOCOM.2018.8330719.

ALI, L. *et al.* Performance evaluation of different algorithms for crack detection in concrete structures. In: **Proceedings of 2nd International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management, ICCAKM 2021**. Abu Dhabi, UAE: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2021. p. 53–58. ISBN 9781728194912. DOI: 10.1109/ICCAKM50778.2021.9357717.

ANSARI, M. A.; KURCHANIYA, D.; DIXIT, M. A Comprehensive Analysis of Image Edge Detection Techniques. **International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering**, Yogyakarta, Indonesia, v. 12, n. 11, p. 1–12, 2017. ISSN 19750080.

ARANDA, L. A.; REVIRIEGO, P.; MAESTRO, J. A. Error detection technique for a median filter using denoising algorithm. **Transactions on Nuclear Science**, IEEE, Madrid, Spain, v. 30, p. 2219–2226, 8 2017. DOI: 10.1109/TNS.2017.2666843.

ARTERO, A. O.; TOMMASELLI, A. M. G. Detecção e afinamento de bordas em direções previamente conhecidas. **Boletim de Ciencias Geodesicas**, Curitiba, Paraná, Brazil, v. 15, p. 155–177, 6 2009. ISSN 14134853.

ATKISON, K. B. **Close Range Photogrammetry and Machine Vision**. 1. ed. Caithness, Scotland: Whittles Publishing Services, 1996. 382 p. ISBN 187032546X.

BISWAS, D. *et al.* Novel gray scale conversion techniques based on pixel depth. **Journal of Global Research in Computer Science**, West Bengal, India, v. 2, 1 2011. DOI: 10.23919/ELINFOCOM.2018.8330719.

BRERETON, R. G.; LLOYD, G. R. Support vector machines for classification and regression. **Analyst**, Royal Society of Chemistry, Bristol, UK, v. 135, p. 230–267, 2009. ISSN 1364-5528.

CANNY, J. A Computational Approach to Edge Detection. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Cambridge, MA, USA, PAMI-8, n. 6, p. 679–698, 1986. ISSN 01628828.

CHA, Y. J.; CHOI, W.; BÜYÜKÖZTÜRK, O. Deep learning-based crack damage detection using convolutional neural networks. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, Blackwell Publishing Inc., Hoboken, NJ, United States, v. 32, p. 361–378, 5 2017. ISSN 14678667.

CHADHA, B.; JUWE, S. **Agile Machine Learning with DataRobot: Automate Each Step of the Machine Learning Life Cycle, From Understanding Problems to Delivering Value**. 1. ed. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2021. v. 1. -511 p. ISBN 9781801076807.

CHAIYASARN, K. *et al.* Crack detection in masonry structures using convolutional neural networks and support vector machines. In: **35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018)**. Berlin, Germany: The International Association for Automation and Robotics in Construction, 2018. ISBN 978-3-00-060855-1.

CHANG, C. C.; HSIAO, J. Y.; HSIEH, C. P. An adaptive median filter for image denoising. In: **Proceedings - 2008 2nd International Symposium on Intelligent Information Technology Application, IITA 2008**. Xi'an, China: IEEE, 2008. v. 2, p. 346–350. ISBN 9780769534978.

CHARALAMPIDIS, D. Recursive implementation of the Gaussian filter using truncated cosine functions. **IEEE Transactions on Signal Processing**, Athens, Greece, v. 64, n. 14, p. 3554–3565, 2016. ISSN 1053587X.

CONSOLI, S.; RECUPERO, D. R.; PETKOVIĆ, M. **Data Science for Healthcare: Methodologies and Applications**. Eindhoven, The Netherlands: Springer International Publishing, 2019. 1-367 p. ISBN 9783030052492.

DAIS, D. *et al.* Automatic crack classification and segmentation on masonry surfaces using convolutional neural networks and transfer learning. **Automation in Construction**, Leeds, UK, v. 125, 2021. DOI: 10.1016/j.autcon.2021.103606.

DAS, S. *et al.* A comparative study of different noise filtering techniques in digital images. **International Journal of Engineering Research and General Science**, Dimapur, India, v. 3, n. 5, p. 180–191, 2015. ISSN 2091-2730.

DENG, X. *et al.* An improved method to construct basic probability assignment based on the confusion matrix for classification problem. **Information Sciences**, Elsevier Inc., Chongqing, China, v. 340-341, p. 250–261, 2016. ISSN 00200255.

DIBIKE, Y. B. *et al.* Model induction with support vector machines: Introduction and applications. **Journal of Computing in Civil Engineering**, ASCE - American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, EUA, v. 15, n. 3, p. 208–216, 6 2001. DOI: 10.1061/ASCE0887-3801(2001)15:3(208).

DING, C. *et al.* Performance prediction for a fuel cell air compressor based on the combination of backpropagation neural network optimized by genetic algorithm (GA-BP) and support vector machine (SVM) algorithms. **Thermal Science and Engineering Progress**, Elsevier Ltd, Changsha, China, v. 44, n. August, p. 102070, 2023. ISSN 24519049.

DISTANTE, A.; DISTANTE, C. **Handbook of image processing and computer vision: Volume 2: From image to pattern**. Lecce, Italy: Springer, 2020. v. 2. 1–431 p. ISBN 9783030423742.

FACELLI, K. *et al.* **Inteligência Artificial: Uma Abordagem de Aprendizado de Máquina**. 1. ed. Rio de Janeiro, Brasil: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2011. 396 p. ISBN 978-85-216-1880-5.

FIGUEIREDO, E. O.; FIGUEIREDO, S. M. d. M. **Planos de voo semiautônomos para fotogrametria com aeronaves remotamente pilotadas de classe 3**. Rio Branco, Brasil: Embrapa, 2018. 56 p. ISSN 0100-9915.

FILHO, O. M.; NETO, H. V. **Processamento Digital de Imagens**. 1^a. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Brasport, 1999. v. 66. 331 p. ISSN 17730627. ISBN 8574520098.

FLAH, M.; SULEIMAN, A. R.; NEHDI, M. L. Classification and quantification of cracks in concrete structures using deep learning image-based techniques. **Cement and Concrete Composites**, Elsevier Ltd, London, Canada, v. 114, 11 2020. ISSN 09589465.

FUDE, G. *et al.* Edge detection based on wavelet analysis with gaussian filter. In: **Proceedings - 1st International Congress on Image and Signal Processing, CISP 2008**. Hainan, China: IEEE, 2008. v. 2, p. 724–728. ISBN 9780769531199.

FUJITA, Y.; MITANI, Y.; HAMAMOTO, Y. A method for crack detection on a concrete structure. In: **18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)**. Hong Kong, China: IEEE, 2006. ISBN 0-7695-2521-0.

GHASSOUN, Y. *et al.* Implementation and validation of a high accuracy uav-photogrammetry based rail track inspection system. **Remote Sensing**, Braunschweig, Germany, v. 13, p. 1–22, 2021. ISSN 20724292.

GLADENCE, M. *et al.* A statistical comparison of logistic regression and different bayes classification methods for machine learning. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, Tamil Nadu, India, v. 10, 2015. ISSN 1819-6608.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento Digital De Imagens**. 3. ed. Knoxville, EUA: Pearson, 2010. 624 p. ISBN 9788581435862.

GORUNESCU, F. **Data Mining: Concepts, Models and Techniques**. 1. ed. Craiova, Romania: Springer, 2011. v. 12. -364 p. ISSN 1868-4394. ISBN 9783642017988.

GU, J. *et al.* Coded rolling shutter photography: Flexible space-time sampling. In: **2010 IEEE International Conference on Computational Photography, ICCP 2010**. Cambridge, MA, USA: IEEE, 2010. p. 0–7. ISBN 9781424470235.

GUPTA, G. Algorithm for image processing using improved median filter and comparison of mean, median and improved median filter. In: **International Journal of Soft Computing**. Jaipur, India: Blue Eyes Intelligence Engineering and Sciences Publication, 2011. v. 1, p. 304–311. ISSN 2231-2307.

HALL, M. **Digital Photography - Mastering Aperture, Shutter Speed, Iso and Exposure**. 1. ed. Penrith Cumbria, UK: JVzon Studio, 2015. 43 p. ISBN 9780760768587.

HAORAN, C. *et al.* Egg crack detection based on support vector machine. In: **Proceedings - 2020 International Conference on Intelligent Computing and Human-Computer Interaction, ICHCI 2020**. [S.l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. p. 80–83. ISBN 9781665423168.

HINTON, G. E. *et al.* Improving neural networks by preventing co-adaptation of feature detectors. **arXiv preprint arXiv:1207.0580**, Toronto, Canada, p. 1–18, 2012. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1207.0580>.

HLOTOV, V.; HUNINA, A.; SIEJKA, Z. Accuracy Investigation of Creating Orthophotomaps Based on Images Obtained by Applying Trimble-UX5 UAV. **Reports on Geodesy and Geoinformatics**, Warsaw, Poland, v. 103, n. 1, p. 106–118, 2017. DOI: 10.1515/rgg-2017-0009.

HOANG, N. D.; NGUYEN, Q. L. Metaheuristic optimized edge detection for recognition of concrete wall cracks: A comparative study on the performances of roberts, prewitt, canny, and sobel algorithms. **Advances in Civil Engineering**, Da Nang, Vietnam, v. 2018, 2018. ISSN 16878094. DOI: 10.1155/2018/7163580.

HOSHYAR, A. N.; KHARKOVSKY, S.; SAMALI, B. Statistical features and traditional sa-svm classification algorithm for crack detection. **Journal of Signal and Information Processing**, Scientific Research Publishing, v. 09, p. 111–121, 2018. ISSN 2159-4465.

HSU, P.; CHEN, B.-Y. Blurred image detection and classification. In: **14th International Multimedia Modeling Conference, MMM 2008**. Kyoto, Japan: Springer, 2008. p. 277–286. ISBN 0302-9743.

HUSSAIN, Z.; AGARWAL, D. A Comparative Analysis of Edge Detection Techniques Used in Flame Image Processing. **International Journal of Advance Research in Science and Engineering**, Mathura, India, v. 4, n. 4, p. 1335–1343, 2015. ISSN 2319-8354(E).

IGUAL, L.; SEGUÍ, S. **Introduction to Data Science: A Python Approach to Concepts, Techniques and Applications**. Cham, Switzerland: Springer, 2017. v. 1. -227 p. ISSN 1863-7310. ISBN 978-3-319-50017-1.

IZBICKI, R.; SANTOS, T. M. dos. **Aprendizado de máquina: uma abordagem estatística**. 1. ed. São Carlos, Brasil: Rafael Izbicki, 2020. v. 1. -272 p. ISBN 978-65-00-02410-4.

JÄHNE, B. **Jähne2005**. 6. ed. Heidelberg, Germany: Springer, 2005. 654 p. ISBN 3-540-24035-7.

JAIN, A.; GUPTA, R. Gaussian filter threshold modulation for filtering flat and texture area of an image. In: **Conference Proceeding - 2015 International Conference on Advances in Computer Engineering and Applications, ICACEA 2015**. Ghaziabad, India: IEEE, 2015. p. 760–763. ISBN 9781467369114.

JOSHI, A. V. **Machine Learning and Artificial Intelligence**. 1. ed. Redmond, USA: Springer International Publishing, 2020. 262 p. ISBN 978-3-030-26621-9.

JUDGE, A. **Mastering Aperture, Shutter Speed, ISO and Exposure**. 1. ed. Sedona, Arizona, USA: CCreateSpace Independent Publishing Platform, 2012. 102 p. ISBN 978-1482314458.

KANAN, C.; COTTRELL, G. W. Color-to-grayscale: Does the method matter in image recognition? **PLoS ONE**, La Jolla, California, United States of America, v. 7, 1 2012. ISSN 19326203.

KIM, H. *et al.* Concrete crack identification using a UAV incorporating hybrid image processing. **Sensors**, Ulsan, Korea, p. 1–14, 2017. ISSN 14248220.

KIM, I. H. *et al.* Application of crack identification techniques for an aging concrete bridge inspection using an unmanned aerial vehicle. **Sensors**, Daejeon, Korea, v. 18, p. 1–14, 2018. ISSN 14248220.

KUMAR, A.; SINGH, S. Comparative analysis of gaussian filter, median filter and denoise autoencoder. In: **2020 7th International Conference on Computing for Sustainable Global Development**. Delhi, India: IEEE, 2020. v. 6, p. 45–51. DOI: 10.23919/INDIACom49435.2020.9083712.

LECUN, Y. *et al.* Gradient-based learning applied to document recognition. **Proceedings of the IEEE**, v. 86, n. 11, p. 2278–2323, 1998. ISSN 00189219.

LEE, J. H. *et al.* A new image-quality evaluating and enhancing methodology for bridge inspection using an unmanned aerial vehicle. **Smart Structures and Systems**, Daejeon, South Korea, v. 27, n. 2, p. 209–226, 2021. ISSN 17381991.

LEI, B. *et al.* New crack detection method for bridge inspection using UAV incorporating image processing. **Journal of Aerospace Engineering**, American Society of Civil Engineers (ASCE), Hubei, China, v. 31, 9 2018. ISSN 0893-1321.

LETA, F. R. **Visual Computing- Scientific Visualization and Imaging Systems**. 4. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Springer, 2014. 256 p. ISSN 2190-5924. ISBN 978-3-642-55131-4.

LI, C. *et al.* Tunnel crack detection using coarse-to-fine region localization and edge detection. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery**, Wiley-Blackwell, v. 9, 9 2019. ISSN 19424795.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 7. ed. Madison, USA: Wiley, 2015. 770 p. ISBN 9781118343289.

LIU, J. G.; MASON, P. J. **Image processing and GIS for remote Sensing**. 2. ed. London, UK: Wiley, 2019. 472 p. ISBN 9781118724200.

LUHMAN, T. *et al.* **Close Range Photogrammetry - Principles, techniques and applications**. 1. ed. Oldenburg, Germany: [s.n.], 2011. v. 30. 510 p. ISSN 14779730. ISBN 9781849950572.

MAJUMDER, A.; GOPI, M. **Introduction Visual Computing: Core Concepts in Computer Vision, Graphics, and Image Processing**. 1. ed. Irvine, USA: CRC Press, 2018. 393 p. ISBN 2013206534.

Malothu Nagu, N. V. S. Image De-Noising By Using Median Filter and Weiner Filter. **International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering**, Andhra Pradesh, India, v. 2, n. 9, p. 5641–5649, 2014.

MARSLAND, S. **Machine Learning - An Algorithmic Perspective**. 1. ed. Boca Raton, USA: CRC PRESS, 2009. v. 1. ISBN 13981420067187.

MATILDES, C. M. Concreto armado e suas patologias. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Revista Científica Semana Acadêmica, São Paulo, Brasil, v. 10, p. 1–31, sep 2022. DOI: 10.35265/2236-6717-225-12187.

MAVROFORAKIS, M. E.; THEODORIDIS, S. A geometric approach to support vector machine (SVM) classification. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 17, n. 3, p. 671–682, 2006. ISSN 10459227.

MOHAN, A.; POOBAL, S. Crack detection using image processing: A critical review and analysis. **Alexandria Engineering Journal**, Elsevier, Kottayam, Kerala, v. 57, p. 787–798, 6 2018. ISSN 1110-0168.

MUSA, A. B. Comparative study on classification performance between support vector machine and logistic regression. **International Journal of Machine Learning and Cybernetics**, Springer Verlag, Wad Madani Sudan, v. 4, p. 13–24, 2 2013. ISSN 1868808X.

- NTALIANIS, K.; CROITORU, A. Applied physics, system science and computers. In: **Applied Physics, System Science and Computers - Proceedings of the 1st International Conference on Applied Physics**. Dubrovnik, Croatia: Springer, 2018. v. 428, p. 245–251. ISBN 978-3-319-53933-1. DOI: 10.1007/978-3-319-53934-8.
- NWANGANGA, F.; CHAPPLE, M. **Practical Machine Learning in R**. 1. ed. Notre Dame, USA: Wiley, 2020. v. 1. 464 p. ISBN 978-1-5231-3319-2.
- NWANKPA, C. E. *et al.* Activation functions: Comparison of trends in practice and research for deep learning. **arXiv preprint arXiv:1811.03378**, Glasgow, UK, p. 1–20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1811.03378>.
- OBI, J. C. A comparative study of several classification metrics and their performances on data. **World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences**, GSC Online Press, v. 8, p. 308–314, 2 2023. DOI: 10.30574/wjaets.2023.8.1.0054.
- OSKOEI, M. A.; HU, H. A Survey on Edge Detection Methods. **Evaluation**, Colchester, United Kingdom, n. February, p. 1–36, 2010. ISSN 1744-8050.
- ÖZGENEL, Ç. F. **Concrete Crack Images for Classification**. *s.l.*: Mendeley Data, 2018. DOI: 10.17632/5y9wdsg2zt.1.
- PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Análise de imagens digitais : princípios, algoritmos e aplicações**. 1^a. ed. São Paulo, Brasil: Cengage Learning, 2007. 529 p. ISBN 8522105952.
- PLAUE, M. **Data Science: An Introduction to Statistics and Machine Learning**. Berlin, Germany: Springer Berlin Heidelberg, 2023. v. 1. –372 p. DOI: 10.1007/978-3-662-67882-4. ISBN 978-3-662-67882-4.
- PRATT, W. K. **Digital Image Processing**. 4. ed. Los Altos, USA: Wiley, 2007. 807 p. ISBN 9780471767770.
- REAGAN, D.; SABATO, A.; NIEZRECKI, C. Feasibility of using digital image correlation for unmanned aerial vehicle structural health monitoring of bridges. **Structural Health Monitoring**, SAGE Publications Ltd, Lowell, MA, USA, v. 17, p. 1056–1072, 9 2018. ISSN 17413168. DOI: 10.1177/1475921717735326.
- ROSA, G. H. de; PAPA, J. P.; YANG, X. S. Handling dropout probability estimation in convolution neural networks using meta-heuristics. **Soft Computing**, Springer Berlin Heidelberg, v. 22, n. 18, p. 6147–6156, 2018. ISSN 14337479. DOI: 10.1007/s00500-017-2678-4.
- RUIZ, R. D. B. *et al.* Processamento digital de imagens para detecção automática de fissuras em revestimentos cerâmicos de edifícios. **Ambiente Construído**, Recife, Brasil, v. 21, p. 139–147, 2021. ISSN 1415-8876. DOI: 10.1590/s1678-86212021000100498.
- SABERIOON, M. *et al.* Comparative performance analysis of support vector machine, random forest, logistic regression and k-nearest neighbours in rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) classification using image-based features. **Sensors**, MDPI AG, Nové Hradý, Czech Republic, v. 18, 4 2018. ISSN 14248220. DOI: 10.3390/s18041027.
- SAMAD, A. M. *et al.* The potential of unmanned aerial vehicle (uav) for civilian and mapping application. In: **Proceedings - 2013 IEEE 3rd International Conference on System Engineering and Technology, ICSET 2013**. Shah Alam, Malaysia: IEEE, 2013. p. 313–318. ISBN 9781479910304. DOI: 10.1109/ICSEngT.2013.6650191.

- SANTOS, B. S. D. *et al.* Fotografias aéreas para detecção de trincas em estruturas de concreto usando redes neurais convolucionais. In: **VIII Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional da Regional 9**. Ilha Solteira, SP, Brasil: [s.n.], 2024. Apresentação na modalidade pôster. Disponível em: <https://www.even3.com.br/viiiermacr9/>. Acesso em: 18 set. 2024.
- SANTOS, B. S. dos *et al.* On the use of different image filters for damage detection in concrete-like structures using aerial. In: **27th ABCM International Congress of Mechanical Engineering**. Florianópolis, Brazil: ABCM, 2023. p. 10. DOI: 10.26678/ABCM.COBEM2023.COB2023-1825.
- SANTOS, W. F. M. D.; ARAÚJO, F. M. U. D. Detecção e diagnóstico de falhas em rolamentos, sob diferentes cargas e velocidades, utilizando redes neurais convolucionais. **Brazilian Journal of Development**, South Florida Publishing LLC, Lagoa Nova, Natal, v. 9, p. 24682–24700, 8 2023. DOI: 10.34117/bjdv9n8-098.
- SARAVANAN, C. Color image to grayscale image conversion. In: **2010 2nd International Conference on Computer Engineering and Applications, ICCEA 2010**. Bali, Indonesia: IEEE, 2010. v. 2, p. 196–199. ISBN 9780769539829. DOI: 10.1109/ICCEA.2010.192.
- SCHEIN, A. I.; UNGAR, L. H. Active learning for logistic regression: An evaluation. **Machine Learning**, Philadelphia, USA, v. 68, p. 235–265, 10 2007. ISSN 08856125. DOI: 10.1007/s10994-007-5019-5.
- SEDDIK, H.; TEBBINI, S.; BRAIEK, E. B. **Smart Real Time Adaptive Gaussian Filter Supervised Neural Network for Efficient Gray Scale and RGB Image De-noising**. Tunis, Tunisia: Taylor and Francis, 2014. 347–364 p. DOI: 10.1080/10798587.2014.888242.
- SEKEHRAVANI, E. A.; BABULAK, E.; MASOODI, M. Implementing canny edge detection algorithm for noisy image. **Bulletin of Electrical Engineering and Informatics**, Lynchburg, USA, v. 9, n. 4, p. 1404–1410, 2020. ISSN 23029285. DOI: 10.11591/eei.v9i4.1837.
- SIMÕES, L. F.; RODRIGUES, P. F.; PINHEIRO, D. C. C. Análise crítica dos métodos de inspeção da abnt nbr 9452:2019. In: **XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas**. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil: Associação Brasileira de Pontes e Estruturas (ABPE), 2021. v. 9452. ISSN 0102-8878.
- SLUDER, G.; WOLF, D. E. **Methods in Cell Biology - Digital Microscopy: A Second Edition of Video Microscopy**. 2. ed. Santa Barbara, California: Elsevier, 2003. 544 p. ISBN 0-12-649161-5.
- SMITH, S. W. **Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists**. Burlington, UK: Newnes, 2003. v. 17. 650 p. ISBN 075067444X.
- SOBEL, I. E. **Camera Models and Machine Perception**. -110 p. Tese (Doutorado) — Stanford University, Sacramento, USA, 1970. ISBN: 9798661468925.
- SOKOLOVA, M.; LAPALME, G. A systematic analysis of performance measures for classification tasks. **Information Processing and Management**, Elsevier Ltd, Ontario, Ottawa, Canada, v. 45, n. 4, p. 427–437, 2009. ISSN 03064573. DOI: 10.1016/j.ipm.2009.03.002.
- SOLOMON, C.; BRECKON, T. **Fundamentals of Digital Image Processing- A Practical Approach with Examples in Matlab**. 1. ed. Canterbury, Kent, UK: Wiley-Blackwell, 2011. 320 p. ISBN 978-0-470-84472-4.
- SOUZA, V. C. M. D.; RIPPER, T. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. 1. ed. São Paulo, Brasil: Pini, 2009. 259 p. ISBN 8572660968.

SRIVASTAVA, N. *et al.* Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. **Journal of Machine Learning Research**, Toronto, Ontario, Canada., v. 15, p. 1929–1958, 2014. ISSN 15337928.

SUNDARARAJAN, D. **Digital image processing: A signal processing and algorithmic approach**. 1. ed. Montreal, Canada: Springer, 2017. 468 p. ISBN 978-981-10-6113-4.

SZELISKI, R. **Computer Vision : Algorithms and Applications 2nd Edition**. Seattle, WA, USA: Springer, 2021. 1196 p. ISSN 1668-0941. ISBN 978-3-030-34371-2.

THABTAH, F.; ABDELHAMID, N.; PEEBLES, D. A machine learning autism classification based on logistic regression analysis. **Health Information Science and Systems**, Springer International Publishing, Auckland, New Zealand, v. 7, 12 2019. ISSN 20472501.

TUBA, E. *et al.* **Convolutional Neural Networks Hyperparameters Tuning**. 1. ed. Warsaw, Poland: Springer, 2021. v. 1. 65-84 p. ISBN 978-3-030-72711-6.

TrEBICKÝ, V. *et al.* Focal length affects depicted shape and perception of facial images. **PLoS ONE**, Klecany, Czech Republic, v. 11, p. 1–14, 2016. ISSN 19326203.

VALE, G. M. D.; POZ, A. P. D. O processo de detecção de bordas de canny: Fundamentos, algoritmos e avaliação experimental. **I Simpósio Brasileiro de Geomática**, Curitiba, Brasil, p. 292–303, 7 2002. ISSN 1982-2170.

VECELLIO, M. E.; BRYANT, E. P. **Pocket Guide to Crime Scene Photography**. 1. ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 2018. 202 p. ISBN 9788527729833.

WANG, M. *et al.* A new image denoising method based on gaussian filter. In: **Proceedings - 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering**. Sapporo, Japan: IEEE, 2014. v. 1, p. 163–167. ISBN 9781479931965. DOI: 10.1109/InfoSEEE.2014.6948089.

WAOO, A. A.; SONI, B. K. Performance analysis of sigmoid and relu activation functions in deep neural network. In: **Procedia Computer Science**. Pradesh, India: Springer, 2021. v. 171, p. 39–52. ISBN 9789811622472. ISSN 18770509.

WU, G. *et al.* Compared between support vector machine (svm) and deep belief network (dbn) for multi-classification of raman spectroscopy for cervical diseases. **Photodiagnosis and Photodynamic Therapy**, Elsevier B.V., Pune, India, v. 42, n. February, p. 103340, 2023. ISSN 18731597. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2023.103340.

YOUN, J. **Mastering Digital Photography: Understanding the Art and Science of Aperture, Shutter, Exposure, Light, and Composition**. 2. ed. [*s.i.*]: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2016. 207 p. ISBN 2013206534.

ZHANG, D. *et al.* inspection using unmanned aerial vehicles. **Engineering Structures**, Elsevier, Glasgow, UK, v. 209, n. November 2019, p. 109940, 2020. ISSN 18737323.

ZHANG, Y. The design of glass crack detection system based on image preprocessing technology. In: **2014 IEEE 7th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference, ITAIC 2014**. Chongqing, China: IEEE, 2014. p. 72. ISBN 9781479944200. DOI: 10.1109/ITAIC.2014.7065001.

ZOMCHAK, L.; STARCHEVSKA, I. Macroeconomic determinants of economic development and growth in ukraine: Logistic regression analysis. In: HU, Z.; WANG, Y.; HE, M. (Ed.). **Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics IV**. Barcelona, Spain: Springer, 2023. p. 358–368.