



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 2

MONITORAMENTO DE AVIFAUNA NA LINHA 15-PRATA

1. INTRODUÇÃO

A avifauna constitui um dos grupos faunísticos mais utilizados como indicador da qualidade ambiental, uma vez que as aves respondem de forma rápida às alterações no habitat, à fragmentação da vegetação, à disponibilidade de recursos alimentares e às modificações decorrentes da expansão urbana. Em ambientes altamente antropizados, como grandes centros urbanos, a composição das comunidades de aves reflete diretamente as condições ecológicas locais, permitindo identificar alterações ambientais, processos de degradação e, evidências de recuperação de ecossistemas.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A implantação e operação de sistemas de transporte sobre infraestrutura elevada, embora proporcionem benefícios significativos à mobilidade urbana e à redução das emissões de gases de efeito estufa, quando comparados ao transporte individual motorizado, introduzem novos fatores de interação entre a fauna silvestre e as estruturas construídas.

Entre esses fatores destacam-se as colisões com edificações e composições metroferroviárias, alterações nas rotas de deslocamento na migração dessas aves, utilização das estruturas como locais de pouso e nidificação, além de possíveis modificações comportamentais decorrentes da presença permanente da infraestrutura urbana utilizando-a até como meio de reprodução através de ninhos e moradas.

Nesse contexto, o monitoramento sistemático da avifauna deixa de representar apenas uma exigência do processo de licenciamento ambiental, passando a constituir importante ferramenta para produção de conhecimento sobre a dinâmica das espécies em ambientes urbanos. As informações obtidas permitem compreender padrões de ocorrência, sazonalidade, utilização do espaço, comportamento e possíveis impactos associados à operação do sistema metroferroviário, subsidiando futuras ações de mitigação e aperfeiçoamento da gestão ambiental.

Atualmente o Metrô de São Paulo (Metrô-SP) é responsável pela manutenção e operação de 5 linhas de metrô, dentre as quais duas são modais do tipo monotrilho: a Linha 15-Prata (L15) e mais recentemente, a Linha 17-Ouro (L17). Estas últimas, por se



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

tratarem de modais de via elevada em toda sua extensão, exigem do Metrô a obtenção de Licença de Operação (LO), que deve ser adquirida junto à Secretaria do Verde e Meio Ambiente (SVMA), atestando que os impactos ambientais das estruturas sejam mínimos. Dentre os requisitos necessários para aquisição da licença, destaca-se a atividade nomeada como Monitoramento de Avifauna, onde todo o trajeto do monotrilho é analisado com o objetivo de identificar ocorrência de aves, estejam voando nas proximidades, alocadas nas instalações do percurso ou até mesmo se sofreram algum tipo de acidente, como choque com as estruturas ou até mesmo com os trens.

O primeiro estudo, para obtenção da LO, é relativo à L15, que atualmente conta com 11 estações distribuídas ao longo de 14,6 Km de extensão. Para executar o Monitoramento de Avifauna nessa linha, são designados alguns colaboradores responsáveis por monitorar todo o percurso de forma manual, seja assistindo às gravações em vídeo, coletadas a partir de pontos fixos nas instalações ou embarcadas nos trens, ou até mesmo realizando visitas *in-loco* para fazer algum tipo de confirmação.

Deslocar colaboradores para análise em campo é bastante custoso e demanda muito tempo, uma vez que o trajeto é extenso e possui diversos pontos de interesse que necessitam de uma análise mais criteriosa, além das vias elevadas e estações, como as áreas comuns no entorno. Além disso, mesmo que o monitoramento fosse executado apenas sobre gravações em vídeo, dificuldades semelhantes ocorreriam devido à quantidade de pontos para se analisar. Sendo assim, faz-se necessário elaborar um



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

estudo de tecnologias e algoritmos de Inteligência Artificial (IA) capazes de auxiliar os colaboradores a executar as análises, elencando pontos onde foram detectadas aves ou locais onde é necessária confirmação por parte de um analista humano.

Os recentes avanços nas tecnologias de Inteligência Artificial e Visão Computacional têm ampliado significativamente as possibilidades de aplicação dessas tecnologias no monitoramento ambiental. A criação de algoritmos para detecção de objetos, Aprendizado Profundo de Máquina (*Deep Learning*) e classificação automática vêm sendo empregados em diferentes áreas da conservação da biodiversidade, segmento de identificação de pessoas e materiais e ainda, permitindo automatizar tarefas tradicionalmente executadas de forma manual, aumentando a capacidade de processamento de grandes volumes de dados e reduzindo a subjetividade inerente às análises realizadas exclusivamente por observadores humanos. Dessa forma, a incorporação dessas tecnologias ao Monitoramento de Avifauna apresenta elevado potencial para otimizar o processo de identificação de aves ao longo da infraestrutura metroferroviária, proporcionando maior eficiência operacional sem comprometer a confiabilidade das análises ambientais.

Diferentemente da maioria dos estudos encontrados na literatura, que empregam câmeras fixas para detecção de fauna, a presente pesquisa aborda um cenário substancialmente mais complexo, caracterizado pela utilização de câmeras embarcadas em composições ferroviárias em movimento, onde se pode identificar o sentido de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

migração dessas aves, bem como, quais são as linhagens, impondo desafios adicionais relacionados à variação contínua do plano de fundo, à elevada velocidade relativa entre câmera e objetos monitorados e às constantes mudanças de iluminação e perspectiva ao longo do percurso.

Portanto, o presente trabalho tem por objetivo elaborar um estudo e propor mecanismo de análise de vídeos e detecção de objetos para identificar presença de aves ao longo do trajeto do monotrilho da L15, considerando gravações de vídeo efetuadas a partir de câmeras embarcadas nos trens da Linha 15-Prata.

2. MONITORAMENTO AMBIENTAL

O Monitoramento de Avifauna integra o conjunto de programas ambientais normalmente estabelecidos durante o processo de licenciamento de empreendimentos potencialmente causadores de impactos ao meio ambiente. Neste contexto a Secretaria do Verde, para que conceda licenciamento desses novos modais, identificam, avaliam e acompanham possíveis interferências da implantação e operação desses empreendimentos sobre as comunidades de aves presentes na área de influência direta e indireta, permitindo a adoção de medidas preventivas, corretivas e mitigadoras sempre que necessário.

No nosso ordenamento jurídico brasileiro, a proteção da fauna encontra fundamento na Constituição Federal de 1988, que, em seu artigo 225, estabelece o direito de todos ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, impondo ao Poder Público e à



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. O mesmo dispositivo constitucional determina que sejam protegidas a fauna e a flora, vedadas práticas que coloquem em risco sua função ecológica, provoquem a extinção de espécies ou submetam os animais à crueldade, razão pela qual foram criadas as instituições como IBAMA, CETESB, SECRETARIA DO VERDE e outras para inspecionar e resguardar a fauna da depreciação e todo um ecossistema.

Complementando o texto constitucional, a Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938/1981, estabelece o licenciamento ambiental como um dos principais instrumentos da política pública destinada à prevenção e ao controle dos impactos ambientais decorrentes de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos ambientais com a criação de novos modais. Nesse contexto, programas de monitoramento ambiental constituem importante mecanismo para verificar, durante a fase operacional do empreendimento, se os impactos previstos nos estudos ambientais permanecem dentro dos limites aceitáveis e se as medidas mitigadoras adotadas se mostram eficazes ao longo do tempo.

Dessa forma, o Monitoramento de Avifauna não deve ser compreendido apenas como requisito administrativo para obtenção ou manutenção da Licença de Operação, mas como instrumento de gestão ambiental contínua, permitindo a produção de dados técnicos que subsidiam decisões relacionadas à conservação da biodiversidade e fauna da região em que está sendo implantado o novo modal, bem como, o aperfeiçoamento



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

operacional do empreendimento e ao atendimento dos princípios da prevenção e da precaução, amplamente reconhecidos no Direito Ambiental brasileiro.

No caso específico do Metrô de São Paulo, o monitoramento apresenta características particulares em razão da configuração das linhas de monotrilho, cujas vias elevadas percorrem áreas com diferentes níveis de urbanização, presença de fragmentos vegetados, áreas com presença maciça de vegetação, corpos d'água, parques urbanos e corredores ecológicos. Essa diversidade de ambientes favorece a ocorrência de espécies com diferentes hábitos ecológicos, incluindo aves residentes, oportunistas e espécies que utilizam determinados trechos apenas durante deslocamentos sazonais, tornando necessário um acompanhamento sistemático da dinâmica da avifauna ao longo de toda a operação do sistema.

A identificação de aves em gravações possui diversas nuances, sem considerar a atenção redobrada que os analistas devem ter ao observarem as imagens, devemos levar em consideração dois pontos importantes para correta observação de aves nas gravações: a variedade de cores que as aves possuem ao longo da vida, como cores diferentes entre aves jovens e adultas de uma mesma espécie; além do formato “dinâmico” das aves, ou seja, uma única ave pode apresentar diferentes formatos conforme se movimenta, como abrir de asas, movimentação do pescoço, asas fechadas etc., podendo parecer uma ave completamente diferente do observado em momentos anteriores nas gravações.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além do atendimento às condicionantes ambientais, os dados produzidos pelo Monitoramento de Avifauna constituem importante fonte de informação para programas de melhoria contínua da gestão ambiental corporativa, permitindo avaliar tendências temporais, identificar áreas críticas, revisar procedimentos operacionais e subsidiar futuras decisões de engenharia e planejamento ambiental.

As características descritas acima também devem ser consideradas quando empregados recursos para detecção automática de objetos, para que as diferentes formas e cores das aves sejam distinguidas dos demais objetos que apareçam na gravação analisada. Para isso, nos próximos itens, apresentamos a fundamentação teórica estudada para compor a abordagem proposta, nesse trabalho, aplicável ao Monitoramento de Avifauna e os resultados prévios obtidos.

2.1. MONITORAMENTO DE AVIFAUNA

O monitoramento sistemático da avifauna constitui uma das metodologias mais empregadas para avaliação da qualidade ambiental de empreendimentos lineares, como rodovias, ferrovias, linhas de transmissão e sistemas metroferroviários.

Além de possibilitar a identificação das espécies presentes em determinada região, esse acompanhamento permite compreender padrões de utilização do espaço, comportamento, sazonalidade, reprodução, alimentação e deslocamento das aves, fornecendo informações essenciais para avaliação dos impactos ambientais decorrentes da implantação e operação dessas infraestruturas onde atualmente todo esse trabalho



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

é feito manualmente com vídeo, fotos utilização de planilhas em Excel para catalogar todo o sistema.

Diferentemente de levantamentos pontuais de fauna, o monitoramento contínuo possibilita acompanhar alterações temporais na composição das comunidades de aves, identificando tendências de aumento ou redução da riqueza de espécies, mudanças na frequência de ocorrência e possíveis modificações comportamentais relacionadas à presença da infraestrutura urbana. Essas informações constituem importante instrumento para avaliação da efetividade das medidas mitigadoras previstas no licenciamento ambiental e para o aperfeiçoamento contínuo da gestão ambiental do empreendimento.

Tabela 1 – Relação de espécies de aves, considerando nome científico e popular. Imagens coletadas em GBIF (2026).

Imagem	Nome científico	Nome popular
	<i>Amazona Aestiva</i>	Papagaio-verdadeiro
	<i>Athene Cunicularia</i>	Coruja-buraqueira

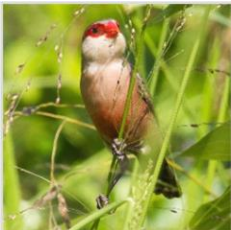


Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Imagem	Nome científico	Nome popular
	<i>Coereba Flaveola</i>	Cambacica
	<i>Colaptes Campestris</i>	Pica-pau do campo
	<i>Columba Livia</i>	Pomba
	<i>Diopsittaca Nobilis</i>	Maracanã-pequena
	<i>Estrilda Astrild</i>	Bico-de-lacre

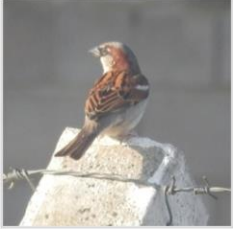


Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Imagem	Nome científico	Nome popular
	<i>Eupetomena Macroura</i>	Beija-flor-tesoura
	<i>Machethornis Rixosa</i>	Suiriri-tesoura
	<i>Myiodynastes Maculatus</i>	Bem-te-vi rajado
	<i>Passer Domesticus</i>	Pardal
	<i>Psittacara Leucophthalmus</i>	Periquitão-maracanã



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Imagem	Nome científico	Nome popular
	<i>Pyrrhura Frontalis</i>	Tiriba-de-testa-vermelha
	<i>Ramphastos Dicolorus</i>	Tucano-de-bico-verde
	<i>Turdus Rufiventris</i>	Sabiá-laranjeira
	<i>Tyrannus Melancholicus</i>	Suiriri
	<i>Zonotrichia Capensis</i>	Tico-tico

A utilização de sistemas automatizados para apoio ao monitoramento torna-se particularmente relevante quando se considera o elevado volume de dados produzido



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

pelos profissionais de campo. A análise manual de milhares de quadros extraídos de gravações em alta resolução demanda significativa disponibilidade de tempo dos especialistas, além de estar sujeita à fadiga do observador e à variabilidade inerente às interpretações humanas.

Nesse contexto, técnicas de Visão Computacional apresentam elevado potencial para atuar como ferramentas de apoio ao especialista, direcionando sua atenção apenas aos eventos com maior probabilidade de ocorrência de aves.



Figura 1 – Exemplos de formato que aves podem apresentar, considerando a espécie *columba-livia*. Fonte: GBIF, 2025.

Outro aspecto relevante refere-se à elevada capacidade de adaptação comportamental apresentada por diversas espécies de aves em ambientes urbanos. Muitas espécies modificam seus horários de atividade, padrões de voo, locais de alimentação e estratégias de utilização das estruturas construídas pelo homem, adaptando-se às condições impostas pela urbanização. Consequentemente, indivíduos pertencentes à



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

mesma espécie podem apresentar comportamentos bastante distintos ao longo do monitoramento, aumentando a complexidade da identificação automática.

Além das características morfológicas das aves, fatores ambientais influenciam diretamente a qualidade das imagens analisadas. Condições como intensidade luminosa, incidência solar, sombras projetadas pelas estruturas do monotrilho, reflexos, chuva, neblina e variações climáticas alteram significativamente o contraste entre a ave e o plano de fundo, aumentando a dificuldade tanto da identificação visual realizada por especialistas quanto da detecção automática por algoritmos de Inteligência Artificial.

Soma-se a esses fatores a grande variação de escala observada nas gravações. Dependendo da distância entre a câmera embarcada e a ave, um mesmo indivíduo pode ocupar desde centenas até poucos pixels da imagem. Objetos muito pequenos representam um dos maiores desafios da literatura em Visão Computacional, especialmente quando inseridos em cenários complexos e altamente dinâmicos, como aqueles encontrados ao longo do percurso operacional do monotrilho.

A Figura 1 ilustra algumas das variações morfológicas normalmente observadas durante o monitoramento, evidenciando como diferenças de postura corporal, abertura das asas, orientação do voo e posição da cabeça podem alterar significativamente a aparência visual de um mesmo indivíduo ao longo da gravação.

Essas variações reforçam que o reconhecimento automático da avifauna não depende exclusivamente da identificação de características morfológicas estáticas, mas também



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

da capacidade dos algoritmos em interpretar padrões dinâmicos de movimento, contexto espacial e comportamento ao longo da sequência temporal das imagens.

Por essa razão, abordagens baseadas exclusivamente em atributos geométricos tendem a apresentar desempenho inferior quando comparadas a modelos modernos baseados em aprendizado profundo.

Considerando a complexidade inerente ao monitoramento de aves em ambientes urbanos, observa-se que métodos tradicionais de inspeção visual, embora continuem indispensáveis para validação dos resultados, tornam-se progressivamente mais limitados diante do crescente volume de dados produzido pelos profissionais ornitólogos de campo.

Nesse cenário, técnicas de Visão Computacional e Inteligência Artificial surgem como ferramentas capazes de ampliar significativamente a eficiência das análises, reduzindo o esforço operacional sem comprometer a qualidade técnica das avaliações ambientais. A seção seguinte apresenta os principais conceitos dessas tecnologias e sua aplicação no desenvolvimento da abordagem proposta.

A Inteligência Artificial não substitui o especialista ambiental: ela funciona como um mecanismo de triagem inteligente, capaz de reduzir drasticamente o volume de imagens que precisam ser analisadas manualmente. Isso aproxima o projeto dos conceitos de *Human-in-the-Loop AI*, em que a decisão final permanece sob responsabilidade do



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

analista humano, mas é potencializada por algoritmos capazes de processar grandes volumes de dados.

Na prática não está se desenvolvendo simplesmente um sistema de detecção de aves. Mais sim, está sendo criado um Sistema Inteligente de Apoio ao Monitoramento Ambiental. Essa mudança de perspectiva amplia significativamente a contribuição científica do trabalho.

3. VISÃO COMPUTACIONAL

A Visão Computacional (VC) é um subcampo da Inteligência Artificial (IA) que aborda algoritmos e estudos relacionados ao tratamento e análise de imagens, concedendo aos computadores a capacidade de “enxergar” e interpretar imagens, como descrever cenas e identificar objetos. Existem diversas aplicações de VC nas atividades do dia a dia, como soluções capazes de extrair texto em documentos digitalizados, análise de imagens aéreas (HAN et al., 2021), até mesmo com aplicações em sistemas de segurança e monitoramento (FU et al. 2019).

Uma das maiores aplicações de Visão Computacional são as técnicas que possibilitam detectar objetos em imagens, identificando objetos dentro de um domínio previamente selecionado, como por exemplo, podemos construir soluções capazes de identificar produtos em uma prateleira de supermercado e pessoas que estejam em cima da faixa amarela em uma plataforma de metrô. Conforme apontado por Cao et al. (2019), a detecção de objetos é uma tarefa executada em duas etapas, sendo a primeira para



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

detectar o elemento propriamente dito e a seguinte, para identificar onde o objeto se encontra na imagem, através de uma caixa delimitadora (*bounding box*) que circunda o objeto. Dentre as abordagens capazes de executar estas ações, destacam-se as Redes Neurais Convolucionais (*Convolutional Neural Network – CNN*), projetadas para de extrair características de dados dispostos de forma matricial, como imagens. Uma CNN é composta por diversas camadas conectadas entre si e organizadas em uma estrutura que remete às conexões dos neurônios em um cérebro, onde cada camada efetua extração de padrões, como bordas de uma imagem, que descrevem o conteúdo, aprendendo quais as características importantes para se classificar um conteúdo corretamente. A imagem abaixo apresenta um exemplo de CNN aplicada à classificação de objetos. Maiores detalhes sobre o funcionamento e fundamentação teórica podem ser vistos em Fukushima (1980).

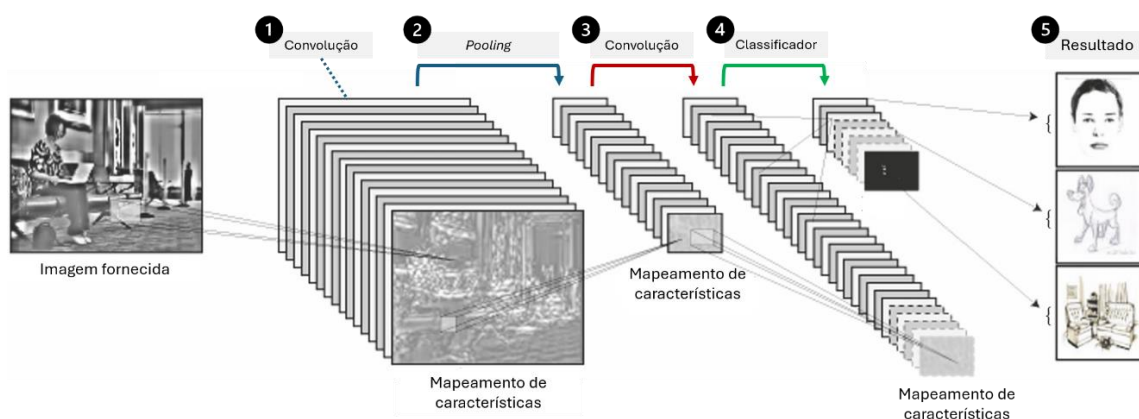


Figura 2 – Exemplo de CNN voltada à classificação de objetos. Fonte: VOULODIMOS et al., 2018, adaptado.

Onde:



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1. As convoluções são responsáveis por detectar padrões nas imagens;
2. A seguir, a camada de *pooling* reduz a dimensão da imagem, com perda mínima de informação, visando otimizar o processamento do conteúdo;
3. Na sequência, outra camada de convolução é aplicada para detectar padrões;
4. Aplicada uma função para classificar o conteúdo;
5. Por fim, o resultado da classificação.

De forma mais prática, as operações executadas sobre uma imagem são semelhantes a Figura 3. Conforme a imagem prossegue por entre as camadas de uma CNN, é possível observar a redução da dimensão da imagem sem que haja perda de contexto, resultando em imagens cada vez menores até resultar em sua classificação.

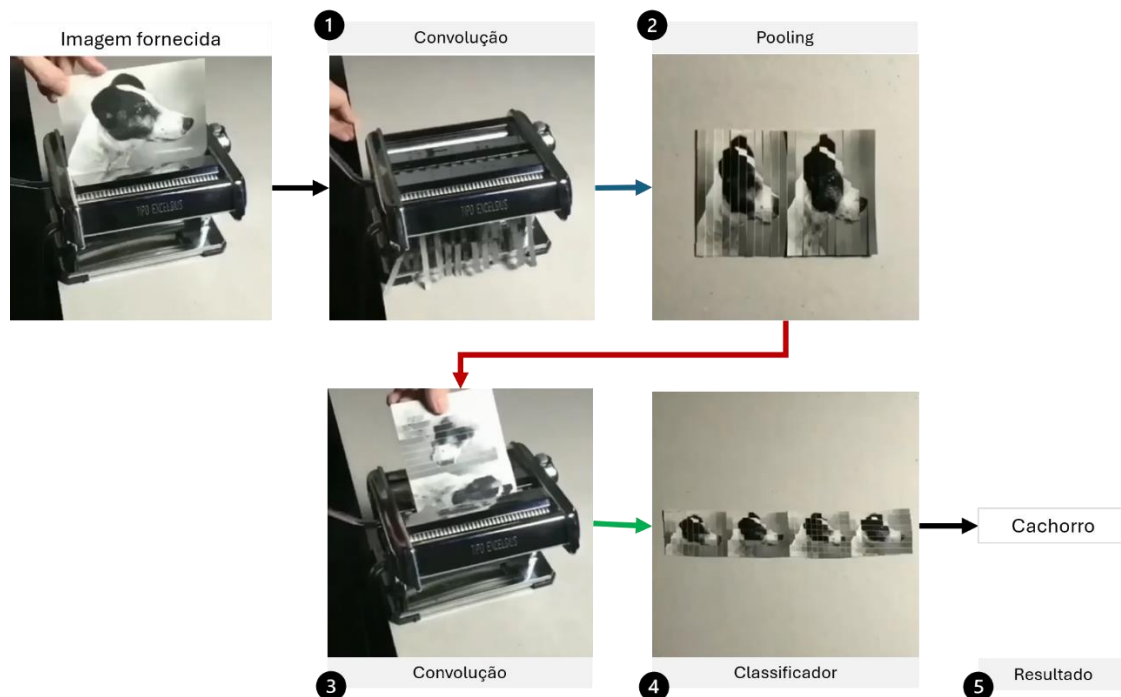


Figura 3 – Demonstração dos resultados obtidos ao se aplicar CNN sobre uma imagem.
Fonte: PIP (2023), adaptado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

As CNNs são versáteis e amplamente utilizadas em aplicações que envolvam análise de imagens e possuem variações, como o conhecido YOLO (REDMON et al., 2016), tornando-se uma excelente alternativa para uso no Monitoramento de Avifauna.

3.1. ANÁLISE DE VÍDEO

Um vídeo é uma representação de uma cena em movimento, sendo composto por uma sequência de imagens, conhecidas por quadros ou *frames*. Ao analisar as imagens de um vídeo, a movimentação apresentada pelas cenas, bem como a quantidade de imagens utilizadas na composição de uma gravação, implica em desafios adicionais no que diz respeito à classificação e detecção de objetos: “[...] como processar de forma eficiente esse grande volume de dados e como lidar com a aparência dos objetos que diferem daqueles observados em imagens estáticas devido a poses incomuns” (YOSHIHASHI et al., 2021). Dentre as abordagens presentes na literatura, o *You Only Look Once* (YOLO), proposto por Redmon et al. (2016), utiliza de camadas convolucionais em sua concepção, sendo capaz de prever não apenas quais objetos encontram-se na imagem analisada, como também identificar a posição onde foram encontrados com relação a imagem completa. O YOLO é amplamente utilizado devido à facilidade de uso e velocidade com que efetua as detecções.

Inicialmente lançado como *open-source*, atualmente conta com distribuições gratuitas para estudos e caso sejam utilizadas em ambiente corporativo, como o caso das versões disponibilizadas pela Ultralytics, é necessário adquirir licença comercial de uso caso o



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

código-fonte do projeto não seja divulgado sob a licença AGPL-3.0¹. As versões da Ultralytics (2026) trazem modelos padrão previamente treinados², capazes de detectar 80 classes de objetos comuns, em versão YOLOv11, como pessoas, veículos e animais, além de possibilitar personalização dos modelos (*fine-tuning*) para cenários desejados. Estas características tornam o YOLO uma boa alternativa para estudos com relação ao Monitoramento de Avifauna.

4. DIAGNÓSTICO

Uma câmera foi embarcada em um trem do monotrilho da Linha 15-Prata, com objetivo de efetuar gravação do trajeto de ponta a ponta, durante o dia. O equipamento utilizado gerou vídeos com 31 frames por segundo, em alta resolução (1920x1080), no formato MP4. Como os frames são descritos por uma grande quantidade de pixels (1920x1080), além do desafio em localizar pequenos objetos em imagens de alta resolução, “[...] a variedade de escalas dos objetos, bem como a diversidade de planos de fundo e texturas das imagens de alta resolução, tornam desafiadora a capacidade dos detectores de generalizar com sucesso” (TELÇEKEN et al., 2024, tradução nossa). Por isso, o uso do frame completo para processar e detectar objetos de interesse foi descartado.

¹ <https://www.ultralytics.com/pt/legal/agpl-3-0-software-license>

² Tamanho padrão das imagens é de 640x640, conforme documentação da Ultralytics (2026).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Dentre as diferentes abordagens de Visão Computacional, os trabalhos de Liu et al. (2024) e Muzammul et al. (2025) discutiram estratégias para detectar pequenos objetos em imagens de alta resolução e os desafios relacionados, uma vez que a maior área das imagens é composta por plano de fundo (*background*). Tratam-se de abordagens aplicáveis ao cenário do Monitoramento de Avifauna, uma vez que boa parte das gravações da L15 apresenta como plano de fundo construções, vias do monotrilho e arredores, e os objetos de interesse (aves) são pequenos elementos que podem se confundir com a cena. Portanto, a abordagem proposta foi construída baseando-se em ambos os estudos, tendo como objeto propor uma solução capaz de detectar e classificar objetos, destacando os momentos nas gravações onde objetos classificados como “aves” foram encontrados, permitindo que um analista humano faça as validações apenas dos momentos destacados sem que precise assistir o vídeo por completo. A figura a seguir ilustra as etapas da abordagem.

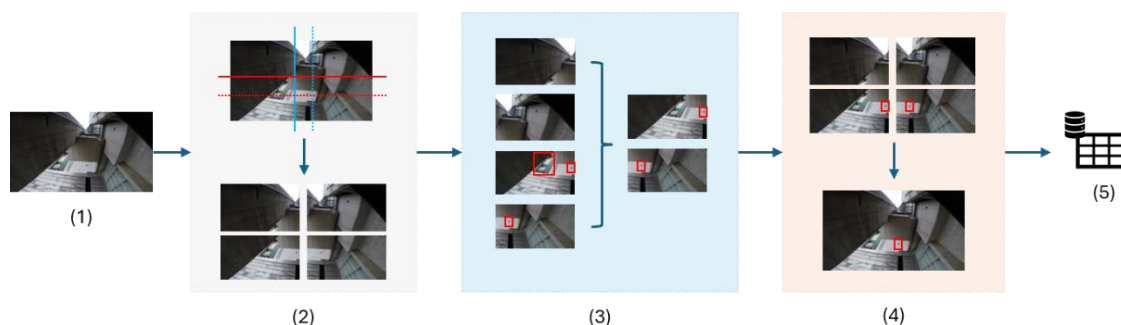


Figura 4 – Arquitetura da abordagem proposta para detecção de aves, aplicada sobre um único frame.

Onde:



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1. Para cada frame do vídeo, previamente extraído da gravação e armazenado em repositório dedicado;
2. Há separação em regiões de interesse, dividindo o frame em partes menores;
3. Cada parcela do frame é submetida ao YOLO11n³ para detectar objetos. Apenas os objetos que sejam classificados como ave⁴ são mantidos, enquanto os demais são desconsiderados;
4. Quando houver detecção de um ou mais objetos, o frame é reconstruído, gerando uma imagem contendo as caixas delimitadoras (*bounding boxes*) dos objetos identificados, destacando os locais onde os objetos classificados como “ave” foram localizados;
5. Por fim, o novo frame é salvo em repositório de arquivos dedicado. A relação com os tempos em que houve detecção de um ou mais objetos é armazenada em uma estrutura de tabela, possibilitando consulta posterior e recuperação dos novos frames para checagem dos apontamentos.

Todo o desenvolvimento foi feito utilizando Python 3.13.0, em Máquina Virtual (*Virtual Machine* – VM) dedicada, provisionada no Azure Machine Learning Studio (AML) no Ambiente em nuvem do Metrô⁵. Foi utilizada VM da série Standard_DS11_v2, que

³ Utilizado modelo padrão, sem efetuar quaisquer tipos de personalização.

⁴ No YOLO11n, corresponde à classe 14 “bird”.

⁵ Plataforma Microsoft Azure.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

possui as seguintes configurações: 2 cores, 14 GB de memória RAM, 28 GB SSD. O uso de VM no AML possibilita compartilhar o código-fonte criado com a equipe responsável, para que não haja dependência de uma máquina local para uso do recurso, além de efetuar o registro dos resultados (imagens novas e apontamentos de ocorrência de aves) ao término do processamento do vídeo, em repositório na nuvem⁶, tornando o conteúdo facilmente acessível por soluções de visualização e análise de dados.

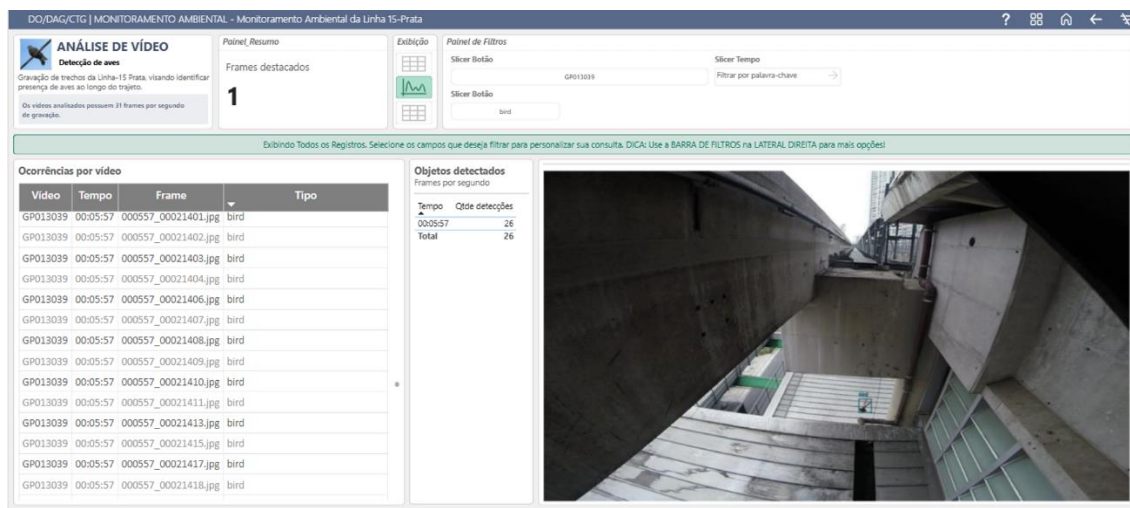


Figura 5 – Interface para consulta dos resultados, construída no Microsoft Power BI, exibindo frames, tempos e imagem com apontamentos.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para validar a abordagem proposta, foram executados testes considerando uma parcela das gravações, representando o trecho das duas vias entre as estações Vila Prudente e Jardim Colonial da Linha 15-Prata, resultando em dois vídeos (GP013039 e GP023039)

⁶ Tecnologia de armazenamento Azure Data Lake Storage Gen2 (ADLS Gen2).



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

com 00:17:25 de gravação, 3,66 GB de tamanho e 62.670 frames cada. Os resultados das detecções foram confrontados com a análise prévia efetuada por analistas humanos e os apontamentos, apresentados a seguir.

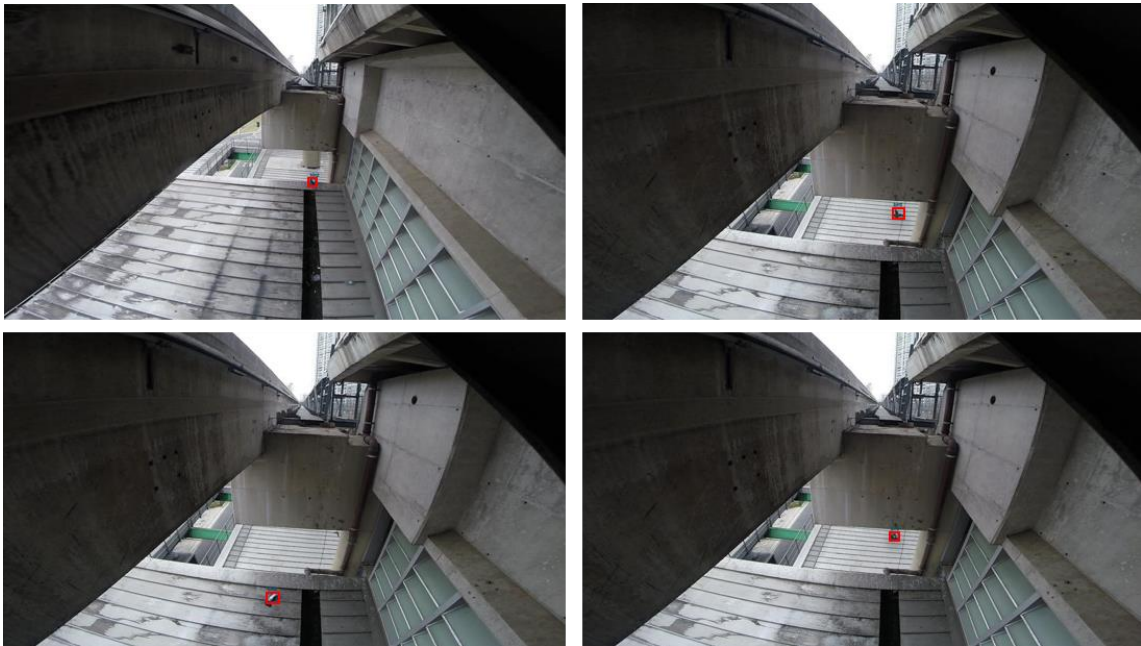


Figura 6 – Aves detectadas, entre os momentos 00:05:30 e 00:05:58 do vídeo GP013039, onde a linha superior corresponde à ave já visível na gravação e na linha inferior, uma segunda ave passa sobrevoando a estrutura.



Figura 7 – Ave caída abaixo da via, detectada em 00:02:03 no vídeo GP023039.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A abordagem proposta foi capaz de localizar as mesmas aves apontadas pelos analistas (Figura 6 e Figura 7), como também identificou uma ave não apontada anteriormente, pulando entre as estruturas após o trem parar na plataforma (Figura 8), complementando a análise prévia.

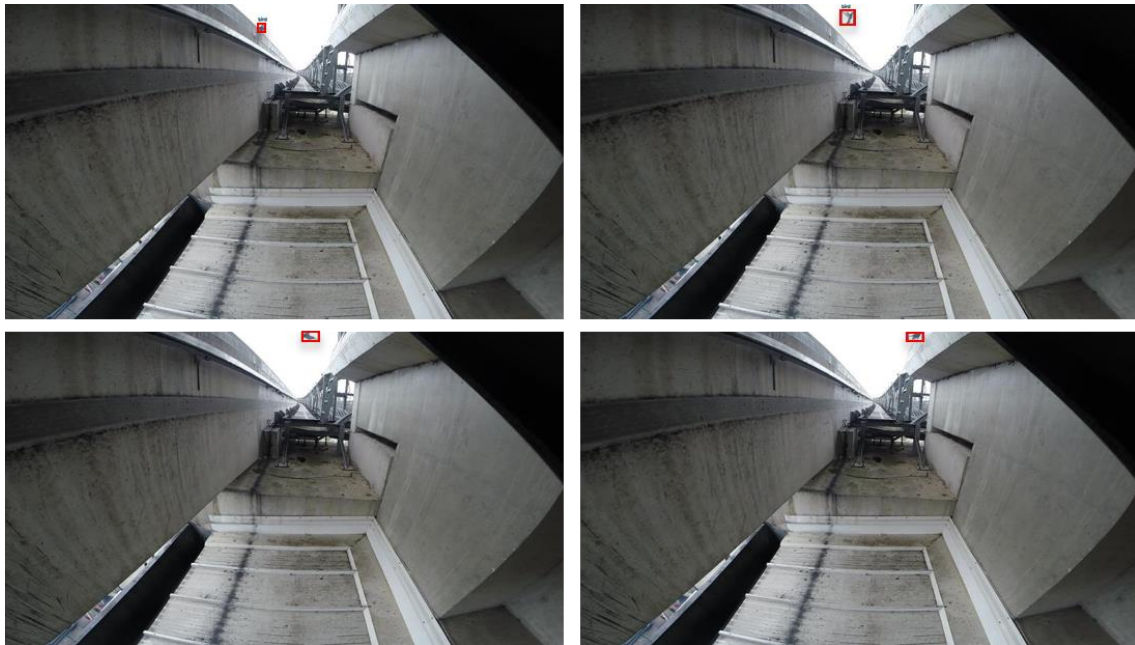


Figura 8 – Ave detectada, passando de um lado para outro das estruturas, entre os minutos 00:13:40 e 00:13:42 do vídeo GP023039. Trata-se de uma nova detecção.

Também foram detectados falsos positivos, classificando como aves estruturas e objetos no nível do solo (Figura 9). Conforme apontado por Wu, Luo e Xu (2018), em cenários de baixa altitude, o desafio em detectar aves voando é ainda maior, pois quanto mais próximo ao solo, maior a quantidade de objetos que podem se confundir com o objetivo principal. Cabe ressaltar que as gravações foram efetuadas por câmeras não estáticas: elas acompanham a movimentação do trem onde foram instaladas, possuindo



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

momentos de movimentação e de parada na mesma gravação. Tal característica interfere na análise dos frames, gerando falsos positivos devido aos ruídos que a movimentação das câmeras gera nas imagens, como os exemplos apontados abaixo.

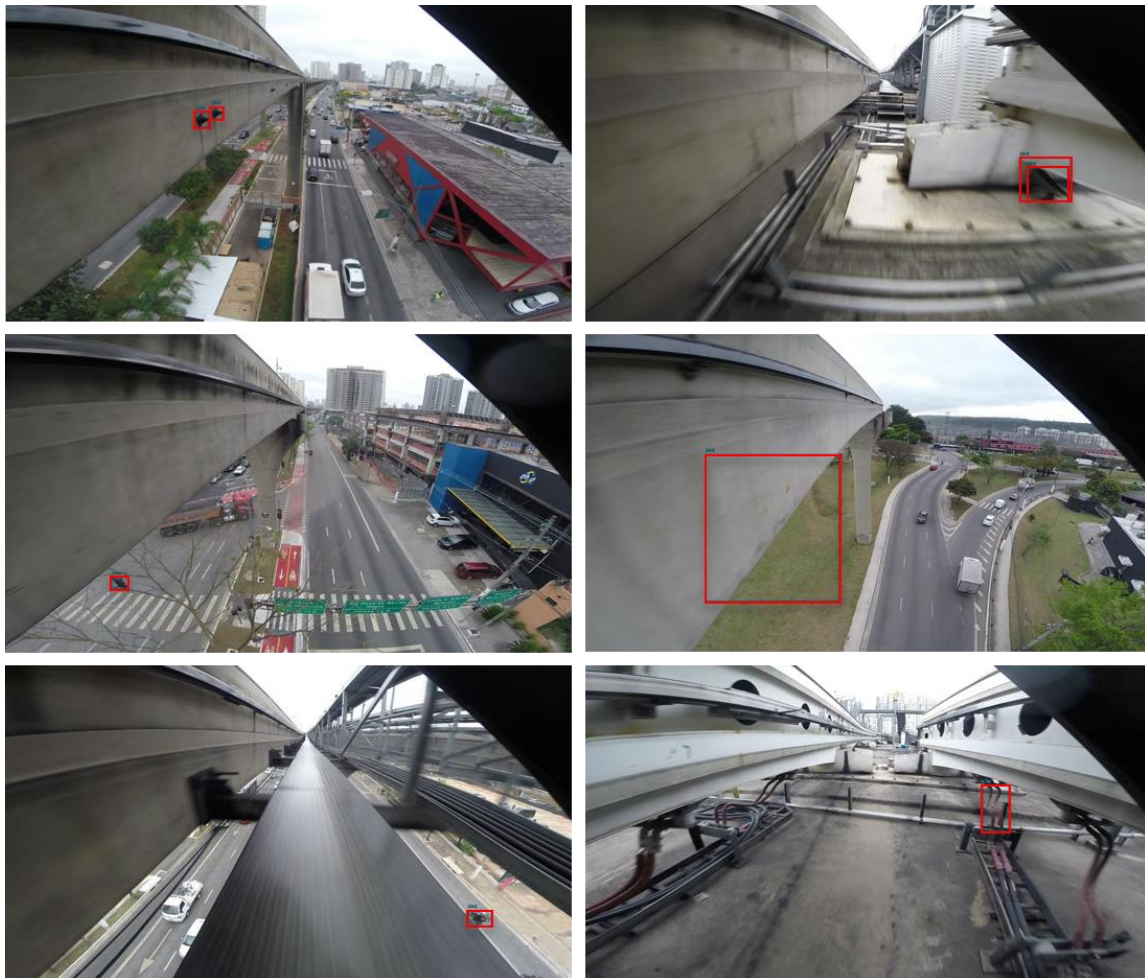


Figura 9 – Exemplos de falsos positivos encontrados.

É possível observar alguns objetos facilmente confundidos com aves, como o caso de semáforos que aparecem distorcidos devido a movimentação da gravação e elementos metálicos na estrutura (Figura 9), além de região desfocada onde a escala de cores,



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ruídos e textura influenciam na classificação incorreta. Outro ponto de atenção são as detecções de objetos que possuem formato de ave mas que trazem dúvidas até mesmo para um analista humano validar se é de fato uma ave ou apenas uma mancha na estrutura (Figura 10). Tais apontamentos não impedem o uso da abordagem proposta, uma vez que a estrutura de dados construída permite realização de filtros e recuperação dos momentos no vídeo onde houve detecção de algum objeto, facilitando validação humana dos pontos destacados.



Figura 10 – Exemplos que trazem desafios à classificação. No destaque, zoom aplicado à região onde encontra-se o objeto detectado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Como se trata de uma fase de estudos, o YOLO11n foi empregado como recurso para detecção dos objetos e identificação de aves, em sua forma padrão, sem qualquer personalização, para avaliar a abordagem proposta quanto à detecção de aves. Como os resultados foram bastante significativos, para as próximas versões, será desenvolvido modelo personalizado de detecção de aves e classificação das mesmas em espécies, conforme relação apresentada na Tabela 1, para aprimorar os resultados ou até mesmo substituir o YOLO11n⁷, uma vez que o “O YOLO apresenta dificuldades na generalização de objetos com proporções incomuns e na detecção de objetos pequenos [...]” (ÜNEL; ÖZKALAYCI; ÇİĞLA, 2019, tradução nossa).

Por fim, “Devido à complexidade que o plano de fundo apresenta em vídeos de vigilância, alguns objetos correspondentes a aves em voo, quando observados em frames isolados, confundem-se com o ambiente ao redor. Nessas situações, a detecção de aves pelo observador humano torna-se difícil quando baseada exclusivamente em um único frame [...]” (SUN et al., 2025, tradução nossa). Portanto, a abordagem proposta poderia ser atualizada, considerando dois frames consecutivos, juntamente de estratégias para amortizar a presença de ruídos ocasionados pela movimentação das câmeras. Os apontamentos desse estudo prévio encontram-se no Anexo I.

⁷ Necessário licença para uso comercial.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

6. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de soluções baseadas em Inteligência Artificial para apoio ao Monitoramento de Avifauna representa um importante avanço na integração entre Engenharia, Tecnologia e Gestão Ambiental. Além de reduzir o esforço operacional necessário para análise de grandes volumes de imagens, a abordagem proposta contribui para aumentar a padronização das inspeções, ampliar a rastreabilidade das análises e disponibilizar informações estruturadas para apoio à tomada de decisão no âmbito do licenciamento e da gestão ambiental do empreendimento.

A abordagem proposta foi construída considerando apenas a detecção de aves, sem classificar as aves em espécies, destacando momentos nas gravações onde aves fossem encontradas, para que o analista responsável pudesse fazer a validação antes de prosseguir.

Outro aspecto relevante refere-se à possibilidade de construção de uma base histórica de informações ambientais. A consolidação dos dados produzidos ao longo das campanhas de monitoramento permitirá identificar tendências temporais, padrões de sazonalidade, áreas com maior incidência de registros e possíveis alterações na dinâmica das espécies ao longo dos anos, contribuindo para o aperfeiçoamento contínuo dos programas ambientais desenvolvidos pelo Metrô de São Paulo.

Como melhorias futuras, além aprimorar a detecção de aves seguindo a abordagem discutida no Anexo I, espera-se construir uma base de classificação de aves



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

personalizada, contendo imagens das espécies relacionadas no Anexo I, para que o resultado também aponte a probabilidade das espécies das aves encontradas. Como consequência do refinamento do processo, a solução proposta poderia ver validada para uso também nas ações de Monitoramento de Avifauna na Linha 17-Ouro.

Embora o estudo tenha sido desenvolvido considerando inicialmente as características operacionais da Linha 15-Prata, a arquitetura proposta apresenta elevado potencial de replicabilidade para outras linhas metroferroviárias, sistemas ferroviários, corredores de transporte, rodovias, aeroportos e demais empreendimento lineares sujeitos ao monitoramento ambiental. Dessa forma, a metodologia desenvolvida poderá servir como referência para futuras aplicações envolvendo monitoramento automatizado da fauna em diferentes contextos operacionais.

Os resultados obtidos durante os experimentos demonstram que a utilização de técnicas de Visão Computacional apresenta elevado potencial para atuar como ferramenta de apoio ao especialista ambiental, permitindo direcionar a análise humana aos eventos com maior probabilidade de ocorrência de aves. Essa estratégia reduz significativamente o tempo dedicado às inspeções manuais, sem substituir a avaliação técnica realizada pelos profissionais responsáveis pela validação dos resultados.

Sob a perspectiva da pesquisa aplicada, o presente trabalho demonstra que desafios tradicionalmente enfrentados pelo monitoramento ambiental podem ser significativamente reduzidos mediante a utilização integrada de técnicas modernas de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Visão Computacional, aprendizado profundo e processamento de imagens. Ao adaptar essas tecnologias às particularidades de câmeras embarcadas em veículos ferroviários em movimento, o estudo amplia o estado da prática na área, oferecendo uma abordagem inovadora para cenários caracterizados por elevada complexidade operacional.

Na prática, o trabalho demonstra que é possível integrar Inteligência Artificial, Visão Computacional e validação humana para transformar um processo predominantemente manual em um sistema inteligente de apoio à decisão. Isso representa um ganho em eficiência, rastreabilidade, padronização e geração de conhecimento ambiental, sem afastar o especialista humano do processo decisório.

Por fim, conclui-se que a incorporação de recursos de Inteligência Artificial ao Monitoramento de Avifauna representa não apenas uma evolução tecnológica dos procedimentos atualmente empregados, mas também uma oportunidade de fortalecer a gestão ambiental corporativa, promover maior eficiência operacional e ampliar a produção de conhecimento científico sobre a interação entre a infraestrutura metroferroviária e a biodiversidade urbana. A convergência entre inovação tecnológica, conservação ambiental e melhoria contínua evidencia o potencial dessa abordagem como ferramenta estratégica para empreendimentos comprometidos com a sustentabilidade e com a gestão responsável de seus impactos ambientais.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

ANEXO I – ANÁLISE DE PIXELS EM MOVIMENTO

As gravações de vídeos na câmera embarcada no trem da L15 trazem cenas com fundos estáticos e dinâmicos, representando a para do trem na plataforma e movimentação do trem, respectivamente. “Existem diversos métodos para detectar objetos em movimento utilizando câmeras estáticas. [...] No entanto, há pesquisas limitadas sobre a detecção de objetos em movimento a partir de uma câmera em movimento.” (OGAWA; AN; YAMASHITA, 2025, tradução nossa). Para detectar um objeto nessas condições, são utilizados algoritmos que trabalham com dois *frames* consecutivos, ao invés de um único *frame*, visando encontrar movimentação de objetos e a direção de movimentação da câmera.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

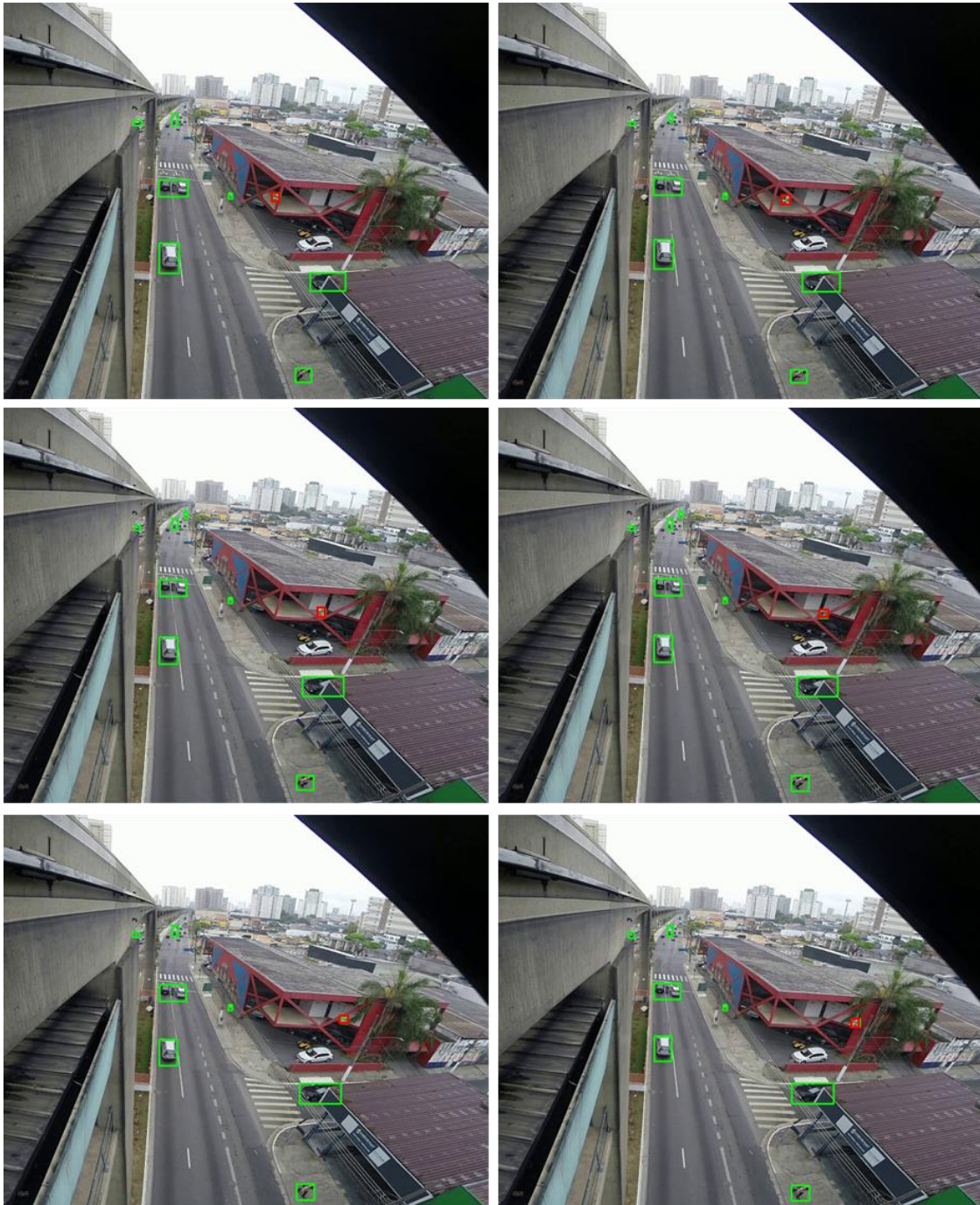


Figura 11 – Aplicação de *Optical Flow* (Python OpenCV), utilizando fragmento de vídeo da L15 onde a câmera está fixa. O destaque em vermelho apresenta uma ave.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Por ser uma técnica bastante sensível à movimentação de pixels, os resultados foram bastante promissores quando empregado sobre uma câmera estática, como observados na imagem acima e ao ser aplicada onde a câmera apresenta movimentação, diversos elementos foram destacados, sendo necessário aprofundar os estudos visando desconsiderar os elementos estruturais e reter apenas objetos como elementos de interesse para a análise.

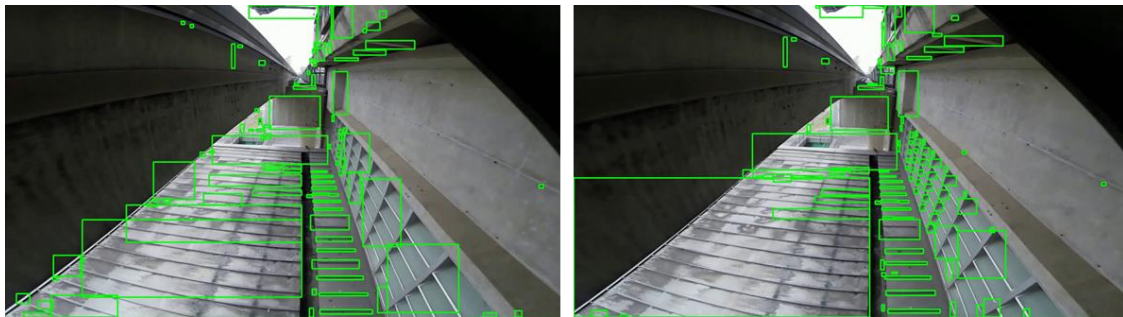


Figura 12 – Aplicação de *Optical Flow* (Python OpenCV), utilizando fragmento de vídeo da L15 durante a movimentação da câmera, quando o trem se aproxima de uma estação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARNICH, Olivier; VAN DROOGENBROECK, Marc. ViBe: A Universal Background Subtraction Algorithm for Video Sequences. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 20, n. 6, p. 1709-1724, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2010.2101613>.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Brasília, DF: Presidência da República, 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: 11 jul. 2026.

CAO, Changqing et al. An Improved Faster R-CNN for Small Object Detection. **IEEE Access**, v. 7, p. 106838–106846, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2932731>.

FUKUSHIMA, Kunihiko. Neocognitron: A self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position. **Biological Cybernetics**, v. 36, n. 4, p. 193–202, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00344251>.

FU, Zhihang et al. Foreground Gating and Background Refining Network for Surveillance Object Detection. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 28, n. 12, p. 6077–6090, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2019.2922095>.

GBIF.ORG. GBIF Occurrence Download. 12 dez. 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.15468/dl.6nxjqs>>. Acesso em: 9 jul. 2026. DOI: <https://doi.org/10.15468/dl.6nxjqs>.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY (GBIF). GBIF: Global Biodiversity Information Facility. Disponível em: <<https://www.gbif.org>>. Acesso em: 9 jul. 2026.

GHAHREMANNEZHAD, Hadi; SHI, Hang; LIU, Chengjun. Real-Time Hysteresis Foreground Detection in Video Captured by Moving Cameras. In: **2022 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGING SYSTEMS AND TECHNIQUES (IST)**, 2022. Anais [...].



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Piscataway, NJ: IEEE, 2022. p. 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1109/IST55454.2022.9827719>.

HAN, Jiaming et al. ReDet: A Rotation-equivariant Detector for Aerial Object Detection. In: **2021 IEEE/CVF CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR)**, 2021, Nashville, TN, USA. Anais [...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2021. p. 2785–2794. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR46437.2021.00281>.

KARMAKER, Debajyoti et al. WHoG: A weighted HoG-based scheme for the detection of birds and identification of their poses in natural environments. In: **2016 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, AUTOMATION, ROBOTICS AND VISION (ICARCV)**, 2016, Phuket, Thailand. Anais [...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICARCV.2016.7838650>.

KHANAM, Rahima; HUSSAIN, Muhammad. YOLOv11: An Overview of the Key Architectural Enhancements. **arXiv**, 2024. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2410.17725>>. Acesso em: 11 jul. 2026.

KONDO, Yuki et al. MVA2023 Small Object Detection Challenge for Spotting Birds: Dataset, Methods, and Results. In: **2023 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE VISION AND APPLICATIONS (MVA)**, 2023. Anais [...]. [S.l.]: IEEE, 2023. DOI: <https://doi.org/10.23919/MVA57639.2023.10215935>.

LI, Junhao; SHIMASAKI, Kohei; ISHII, Idaku. Long-Distance Avian Identification Approach Based on High-Frame-Rate Video. In: **2023 IEEE 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON**



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

AUTOMATION SCIENCE AND ENGINEERING (CASE), 2023, Auckland, New Zealand. Anais [...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/CASE56687.2023.10260444>.

LIU, Kai *et al.* ESOD: Efficient Small Object Detection on High-Resolution Images. **IEEE Transactions on Image Processing**, v. 34, p. 183-195, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIP.2024.3501853>.

MIRUGWE, Alex; NYIRENDA, Juwa; DUFOURQ, Emmanuel. Automating Bird Detection Based on Webcam Captured Images Using Deep Learning. In: **PROCEEDINGS OF THE 43RD CONFERENCE OF THE SOUTH AFRICAN INSTITUTE OF COMPUTER SCIENTISTS AND INFORMATION TECHNOLOGISTS (SAICSIT 2022)**. [S.l.]: EasyChair, 2022. p. 62-76. DOI: <https://doi.org/10.29007/9fr5>.

MUZAMMUL, Muhammad; LI, Xuwei; LI, Xi. Enhancing Tiny Object Detection Using Guided Object Inference Slicing (GOIS): An efficient dynamic adaptive framework for fine-tuned and non-fine-tuned deep learning models. **Neurocomputing**, v. 640, art. 130327, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.130327>.

OGAWA, Masahiro; AN, Qi; YAMASHITA, Atsushi. Moving Object Detection from Moving Camera Using Focus of Expansion Likelihood and Segmentation. **arXiv**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.13628>. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2507.13628>>. Acesso em: 11 jul. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

OPENCV. Optical Flow. OpenCV Tutorials, [s.d.]. Disponível em: <https://docs.opencv.org/5.0/tutorials/other/optical_flow.html>. Acesso em: 12 jul. 2026.

PIP. Demonstration of how convolutional neural networks (CNNs) work for pattern recognition #science. YouTube, 1 maio 2023. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=yHYCORbysyl>>. Acesso em: 13 jul. 2026.

REDMON, Joseph et al. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. In: **2016 IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR)**, 2016, Las Vegas, NV, USA. Anais [...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2016. p. 779–788. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91>.

SUN, Zi-Wei *et al.* FBD-SV-2024: Flying Bird Object Detection Dataset in Surveillance Video. **Scientific Data**, v. 12, art. 530, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41597-025-04872-6>.

TELÇEKEN, Muhammed *et al.* A New Approach for Super Resolution Object Detection Using an Image Slicing Algorithm and the Segment Anything Model. **Sensors**, v. 24, n. 14, art. 4526, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24144526>.

ULTRALYTICS. Ultralytics: revolucionando o mundo da visão computacional. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <<https://www.ultralytics.com/pt>>. Acesso em: 12 jul. 2026.

ULTRALYTICS. YOLO Configuration. Ultralytics Documentation, [s.d.]. Disponível em: <<https://docs.ultralytics.com/usage/cfg>>. Acesso em: 12 jul. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ÜNEL, F. Özge; ÖZKALAYCI, Burak O.; ÇİĞLA, Cevahir. The Power of Tiling for Small Object Detection. In: **2019 IEEE/CVF CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION WORKSHOPS (CVPRW)**, 2019, Long Beach, CA, USA. Anais [...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2019.00084>.

VOULODIMOS, Athanasios *et al.* Deep Learning for Computer Vision: A Brief Review. **Computational Intelligence and Neuroscience**, v. 2018, art. 7068349, p. 1–13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/7068349>.

WU, Tianhang; LUO, Xiaoyan; XU, Qunyu. A new skeleton-based flying bird detection method for low-altitude air traffic management. **Chinese Journal of Aeronautics**, v. 31, n. 11, p. 2149–2164, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.01.018>.

YOSHIHASHI, Ryota *et al.* Finding a Needle in a Haystack: Tiny Flying Object Detection in 4K Videos using a Joint Detection-and-Tracking Approach. **arXiv**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2105.08253>. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2105.08253>>. Acesso em: 12 jul. 2026.

ZHENG, Wenbo; WANG, Kunfeng; WANG, Fei-Yue. A novel background subtraction algorithm based on parallel vision and Bayesian GANs. **Neurocomputing**, v. 381, p. 178–189, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.04.088>.