v7.n10.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

SISTEMA INTELIGENTE DE APOIO À GESTÃO DE FAIXAS DE DOMÍNIO RODOVIÁRIAS: VISÃO COMPUTACIONAL, TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E FORMAÇÃO APLICADA EM ENGENHARIA DE *SOFTWARE*

INTELLIGENT SYSTEM FOR SUPPORTING THE MANAGEMENT OF HIGHWAY RIGHTS-OF-WAY: COMPUTER VISION, DIGITAL TRANSFORMATION AND APPLIED TRAINING IN SOFTWARE ENGINEERING

SISTEMA INTELIGENTE DE APOYO A LA GESTIÓN DE FRANJAS DE DOMINIO VIAL: VISIÓN COMPUTACIONAL, TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y FORMACIÓN APLICADA EN INGENIERÍA DE SOFTWARE

Roberto Zanoni[1], Adalto Selau Sparremberger[2], Fernando Dieckmann Medeiros[3], Guilherme Fontoura Pujol[4], Cláudia Cecília Serafini Mallmann[5]

e7109340
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i10.9340

PUBLICADO: 10/2026

RESUMO

A gestão das faixas de domínio rodoviárias é atividade crítica para a segurança viária e para a preservação do patrimônio público, mas permanece amparada em inspeções visuais presenciais, registros manuais e baixa padronização documental, o que compromete a rastreabilidade das ocorrências e a tempestividade das intervenções corretivas. Este artigo apresenta o SIAFAX, sistema inteligente de apoio à gestão de faixas de domínio fundamentado em visão computacional e aprendizagem profunda, concebido e validado em ambiente universitário como iniciativa simultânea de inovação tecnológica e de formação aplicada. Adotou-se a *Design Science Research* como método de condução, organizada em cinco etapas: identificação do problema, definição dos objetivos do artefato, projeto e desenvolvimento, demonstração e avaliação. O artefato integra captura de vídeo georreferenciada por dispositivo móvel, sincronização de coordenadas GPS, processamento por rede YOLOv8 associada à biblioteca OpenCV, persistência estruturada das ocorrências e camada de apresentação para consulta gerencial. Foram definidas oito classes de detecção associadas a elementos recorrentes na faixa de domínio e estabelecido critério de zona livre de nove metros contados a partir do bordo da pista. A avaliação do modelo em conjunto de validação alcançou precisão de 0,87, revocação de 0,81, mAP50 de 0,89 e mAP50-95 de 0,63, resultados compatíveis com aplicações de triagem assistida. Conclui-se pela viabilidade técnica da abordagem como instrumento de apoio à decisão, sem substituição do julgamento técnico do inspetor, e discute-se a dimensão formativa da experiência para cursos de tecnologia da informação.

PALAVRAS-CHAVE: Visão computacional. Faixa de domínio rodoviária. Aprendizagem profunda. Transformação digital. Formação aplicada.

[1] Doutor em Administração pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e Mestre em Ciência da Computação pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), professor adjunto do Centro Universitário Senac-RS, atuando em Tecnologia da Informação e Educação Digital.
[2] Mestre em Computação Aplicada pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e Bacharel em Sistemas de Informação pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), atuando no Centro Universitário Senac-RS na área de Engenharia de Software.
[3] Acadêmico do curso de Ciência de Dados e Inteligência Analítica do Centro Universitário Senac-RS e bolsista de Iniciação Científica, atuando na área de visão computacional e aprendizagem de máquina.
[4] Acadêmico do curso Superior de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas do Centro Universitário Senac-RS e bolsista de Iniciação Científica, atuando na área de desenvolvimento de aplicações móveis.
[5] Doutoranda em Administração pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e Mestre em Letras pelo Centro Universitário Ritter dos Reis (UniRitter), atuando no Centro Universitário Senac-RS na área de Extensão Universitária.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ABSTRACT
The management of highway rights-of-way is a critical activity for road safety and for the preservation of public assets, yet it still relies on in-person visual inspections, manual records and low documentary standardization, which compromises the traceability of occurrences and the timeliness of corrective interventions. This paper presents SIAFAX, an intelligent system supporting right-of-way management based on computer vision and deep learning, designed and validated in a university setting as a simultaneous technological innovation and applied training initiative. Design Science Research was adopted as the guiding method, organized into five stages: problem identification, definition of artifact objectives, design and development, demonstration and evaluation. The artifact integrates georeferenced video capture through a mobile device, GPS coordinate synchronization, processing by a YOLOv8 network combined with the OpenCV library, structured persistence of occurrences and a presentation layer for managerial consultation. Eight detection classes were defined, associated with elements recurrently found in the right-of-way, and a clear-zone criterion of nine meters measured from the pavement edge was established. Model evaluation on the validation set reached precision of 0.87, recall of 0.81, mAP50 of 0.89 and mAP50-95 of 0.63, results compatible with assisted triage applications. The study concludes that the approach is technically feasible as a decision support instrument, without replacing the technical judgment of the inspector, and discusses the formative dimension of the experience for information technology programs.

KEYWORDS: *Computer vision. Highway right-of-way. Deep learning. Digital transformation. Applied training.*

RESUMEN
La gestión de las franjas de dominio vial es una actividad crítica para la seguridad vial y la preservación del patrimonio público, pero sigue apoyada en inspecciones visuales presenciales, registros manuales y baja estandarización documental, lo que compromete la trazabilidad de las ocurrencias y la oportunidad de las intervenciones correctivas. Este artículo presenta el SIAFAX, sistema inteligente de apoyo a la gestión de franjas de dominio fundamentado en visión computacional y aprendizaje profundo, concebido y validado en ambiente universitario como iniciativa de innovación tecnológica y formación aplicada. Se adoptó la Design Science Research como método de conducción, organizada en cinco etapas: identificación del problema, definición de los objetivos, proyecto y desarrollo, demostración y evaluación. El artefacto integra captura de video georreferenciada mediante dispositivo móvil, sincronización de coordenadas GPS, procesamiento por red YOLOv8 asociada a la biblioteca OpenCV, persistencia estructurada de las ocurrencias y capa de presentación gerencial. Se definieron ocho clases de detección asociadas a elementos recurrentes en la franja de dominio y un criterio de zona libre de nueve metros desde el borde de la calzada. La evaluación del modelo en el conjunto de validación alcanzó precisión de 0,87, exhaustividad de 0,81, mAP50 de 0,89 y mAP50-95 de 0,63, resultados compatibles con aplicaciones de triaje asistido. Se concluye que el enfoque es técnicamente viable como instrumento de apoyo a la decisión, sin sustituir el juicio técnico del inspector, y se discute la dimensión formativa de la experiencia para cursos de tecnología de la información.

PALABRAS CLAVE: *Visión computacional. Franja de dominio vial. Aprendizaje profundo. Transformación digital. Formación aplicada.*

INTRODUÇÃO

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A malha rodoviária brasileira responde pela maior parte do transporte de cargas e de passageiros do país e constitui ativo público cuja conservação depende, de modo direto, da vigilância continuada sobre as áreas laterais que margeiam a pista. Essas áreas, designadas faixas de domínio, compreendem a porção de terreno de propriedade ou de responsabilidade do órgão rodoviário destinada à implantação, operação, conservação e futura ampliação da via, incluindo dispositivos de drenagem, sinalização, taludes e acostamentos. A ocupação irregular dessas faixas, o crescimento desordenado da vegetação, o posicionamento inadequado de estruturas e a permanência de obstáculos rígidos próximos ao bordo da pista figuram entre os fatores que agravam a severidade dos acidentes por saída de pista e que dificultam as operações de manutenção.

Apesar da relevância operacional e jurídica do tema, a prática corrente de fiscalização das faixas de domínio permanece fortemente apoiada em procedimentos manuais. Equipes técnicas percorrem trechos previamente definidos, registram ocorrências em formulários impressos ou planilhas eletrônicas, produzem fotografias sem vinculação automática a coordenadas geográficas e consolidam relatórios cuja padronização depende do critério individual de cada inspetor. Esse arranjo produz três limitações recorrentes. A primeira é a baixa cobertura territorial, uma vez que o esforço humano necessário para percorrer extensões quilométricas restringe a frequência das inspeções. A segunda é a fragilidade da rastreabilidade, pois a ausência de georreferenciamento sistemático dificulta a comparação entre levantamentos sucessivos e a verificação da evolução de uma mesma ocorrência ao longo do tempo. A terceira é a variabilidade dos critérios de classificação, que compromete a comparabilidade entre trechos e entre equipes.

O avanço recente das técnicas de visão computacional baseadas em redes neurais convolucionais alterou substancialmente as possibilidades de automação de tarefas de inspeção visual. Arquiteturas de detecção de objetos em estágio único, capazes de localizar e classificar múltiplos elementos em uma única passagem pela imagem, atingiram desempenho compatível com aplicações em tempo real e passaram a ser incorporadas a sistemas de monitoramento em contextos tão diversos quanto agricultura de precisão, controle de qualidade industrial e segurança patrimonial. A conjugação dessas técnicas com a capacidade de processamento e de captura dos dispositivos móveis contemporâneos abre caminho para soluções de inspeção de baixo custo, dispensando equipamentos especializados de alto valor e viabilizando a coleta sistemática de evidências georreferenciadas.

Este artigo apresenta o SIAFAX, sistema inteligente de apoio à gestão de faixas de domínio rodoviárias por meio de inteligência artificial e visão computacional. O sistema foi

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

concebido no âmbito de um projeto de pesquisa institucional vinculado à linha de Transformação Digital e Segurança da Informação de um centro universitário do Rio Grande do Sul, com recorte empírico em trecho da rodovia estadual ERS-389, conhecida como Estrada do Mar. A proposta articula duas dimensões que raramente são tratadas de modo integrado na literatura. A primeira é a dimensão tecnológica, relativa à concepção, ao desenvolvimento e à avaliação de um artefato computacional capaz de detectar automaticamente elementos presentes na faixa de domínio e de sinalizar situações potencialmente irregulares. A segunda é a dimensão formativa, relativa ao uso do próprio processo de desenvolvimento como ambiente de aprendizagem aplicada para estudantes de cursos de tecnologia da informação.

O problema de pesquisa que orienta a investigação pode ser assim enunciado: em que medida uma solução de visão computacional apoiada em aprendizagem profunda e executada sobre dados capturados por dispositivo móvel é capaz de apoiar a triagem de ocorrências em faixas de domínio rodoviárias com desempenho compatível com o uso operacional? Como desdobramento, indaga-se de que modo a construção desse artefato pode ser mobilizada como estratégia de formação aplicada em contextos de ensino superior tecnológico.

O objetivo geral consiste em desenvolver e avaliar um artefato computacional de apoio à gestão de faixas de domínio rodoviárias baseado em detecção automática de objetos em vídeo georreferenciado. Constituem objetivos específicos: caracterizar as limitações do processo tradicional de inspeção; definir o conjunto de classes de detecção pertinentes ao domínio; especificar a arquitetura da solução; treinar e avaliar o modelo de detecção segundo métricas consagradas na literatura; e discutir os limites e as implicações da adoção da abordagem, incluindo sua dimensão formativa.

A justificativa do estudo assenta-se em três eixos. Do ponto de vista técnico, contribui com a documentação de uma arquitetura replicável para inspeção assistida de infraestrutura linear, área ainda pouco explorada na literatura nacional quando comparada a aplicações em pavimento e sinalização vertical. Do ponto de vista da gestão pública, oferece subsídio para a discussão sobre transformação digital em órgãos rodoviários, especialmente no que se refere à substituição de registros manuais por evidências digitais rastreáveis. Do ponto de vista educacional, documenta uma experiência de integração entre pesquisa aplicada e formação profissional em tecnologia da informação, contribuindo para o debate sobre metodologias ativas em cursos de graduação da área.

O texto está organizado em cinco seções, incluída esta introdução. A seção 1 apresenta o referencial teórico, abordando a gestão de faixas de domínio, os fundamentos da detecção de objetos por aprendizagem profunda, a transformação digital em organizações de infraestrutura e

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

as bases da formação aplicada. A seção 2 descreve o percurso metodológico. A seção 3 apresenta e discute os resultados obtidos. A seção 4 consolida as considerações finais e indica direções para trabalhos futuros.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Faixa de domínio e gestão da segurança viária

A faixa de domínio corresponde à área de terreno sobre a qual o órgão rodoviário exerce domínio ou controle, destinada à implantação da via e de seus elementos complementares. Sua delimitação cumpre função dupla: assegurar espaço físico para a operação e a futura ampliação da rodovia e estabelecer zona de proteção que reduza a exposição de usuários e de terceiros a riscos decorrentes do tráfego. Os manuais técnicos brasileiros de implantação e de conservação rodoviária tratam a faixa de domínio como componente estrutural do projeto viário, associando-a a requisitos de drenagem, de visibilidade e de contenção de taludes (DNIT, 2005; DNIT, 2010).

A legislação nacional disciplina o tema em dois planos complementares. O Código de Trânsito Brasileiro estabelece competências dos órgãos executivos rodoviários quanto à fiscalização e à retirada de obstáculos que comprometam a segurança da circulação (BRASIL, 1997). A legislação de parcelamento do solo urbano, por sua vez, define as faixas *non aedificandi* contíguas às faixas de domínio público das rodovias, que com estas não se confundem, e cuja extensão mínima passou a poder ser reduzida por lei municipal ou distrital, transferindo aos municípios parte da competência normativa sobre o tema (BRASIL, 1979; BRASIL, 2019). A convivência entre esses regimes produz um cenário de fiscalização complexo, no qual a caracterização de uma ocupação como irregular exige a combinação de informações cadastrais, geográficas e normativas.

No campo da engenharia de segurança viária, o conceito de zona livre ocupa posição central. Trata-se da faixa lateral adjacente à pista que deve permanecer desimpedida de obstáculos rígidos, de modo que um veículo que perca o controle possa desacelerar ou retornar à via sem colidir com elementos fixos. A largura recomendada para a zona livre varia conforme velocidade de projeto, volume de tráfego e geometria do trecho, e sua observância está associada à redução da severidade das saídas de pista. Postes, árvores de grande porte, blocos de concreto e estruturas edificadas situados dentro dessa faixa constituem, portanto, elementos de interesse prioritário para qualquer sistema de inspeção.

A literatura sobre gestão de ativos rodoviários tem apontado que a eficácia das intervenções depende menos da capacidade de execução das obras corretivas e mais da qualidade da informação disponível para priorizá-las. Inventários desatualizados, ausência de séries históricas e registros sem vinculação geográfica reduzem a capacidade dos órgãos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

gestores de dimensionar demandas, justificar orçamentos e demonstrar resultados. Nesse sentido, a digitalização do processo de inspeção não constitui apenas ganho de eficiência operacional, mas condição para a maturidade da própria gestão do ativo.

1.2. Detecção de objetos por aprendizagem profunda

A detecção de objetos consiste na tarefa de localizar e classificar simultaneamente múltiplas instâncias de categorias de interesse em uma imagem, produzindo como saída caixas delimitadoras acompanhadas de rótulos e de escores de confiança. Diferentemente da classificação de imagens, que atribui um rótulo único ao quadro inteiro, a detecção exige a resolução conjunta de dois problemas: a regressão das coordenadas espaciais e a discriminação entre categorias.

As abordagens baseadas em aprendizagem profunda consolidaram-se como estado da arte na área a partir da constatação de que redes neurais convolucionais profundas são capazes de aprender representações hierárquicas diretamente dos dados, dispensando a engenharia manual de descritores (LECUN; BENGIO; HINTON, 2015; GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016). Os métodos podem ser agrupados em duas famílias. Os detectores de dois estágios geram primeiro regiões candidatas e, em seguida, as classificam, obtendo tradicionalmente maior acurácia ao custo de latência mais elevada. Os detectores de estágio único formulam a detecção como problema único de regressão sobre a imagem completa, favorecendo o desempenho em tempo real (ZHAO et al., 2019).

A família YOLO inaugurou a segunda abordagem ao propor que uma única rede processasse a imagem inteira e produzisse simultaneamente as caixas e as probabilidades de classe, eliminando o *pipeline* de propostas de região (REDMON et al., 2016). As versões subsequentes incorporaram melhorias sucessivas em arquitetura de extração de características, estratégias de ancoragem, funções de perda e técnicas de aumento de dados. A implementação YOLOv8 consolidou uma abordagem sem âncoras, com cabeça de detecção desacoplada para classificação e regressão, e disponibilizou variantes de diferentes portes que permitem ajustar a relação entre acurácia e custo computacional conforme o cenário de implantação (JOCHER; CHAURASIA; QIU, 2023). Essa flexibilidade é particularmente relevante em aplicações que preveem execução sobre *hardware* de capacidade limitada.

A avaliação de detectores apoia-se em um conjunto estável de métricas. A precisão expressa a proporção de detecções corretas entre todas as detecções produzidas, enquanto a revocação expressa a proporção de objetos efetivamente presentes que foram encontrados. Ambas dependem de um limiar de sobreposição entre a caixa predita e a caixa de referência,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

usualmente medido pela interseção sobre união. A precisão média por classe, obtida pela área sob a curva de precisão contra revocação, e sua média entre classes, designada mAP, constituem os indicadores sintéticos mais empregados. As convenções mAP50 e mAP50-95 diferenciam-se pelo limiar de sobreposição adotado, sendo a segunda mais rigorosa por calcular a média dos resultados em uma faixa de limiares (EVERINGHAM et al., 2010; LIN et al., 2014; PADILLA; NETTO; SILVA, 2020).

O tratamento das imagens em etapas anteriores e posteriores à inferência costuma apoiar-se em bibliotecas de processamento digital de imagens. A OpenCV consolidou-se como referência nesse domínio, oferecendo rotinas otimizadas para leitura de fluxos de vídeo, conversão de espaços de cor, redimensionamento, filtragem e desenho de anotações sobre os quadros (BRADSKI, 2000). Em *pipelines* de inspeção, essas rotinas viabilizam a extração de quadros em taxa controlada, a normalização das entradas e a geração de evidências visuais anotadas para conferência humana.

1.3. Transformação digital em organizações de infraestrutura

A transformação digital tem sido caracterizada como processo pelo qual organizações redefinem suas propostas de valor mediante combinações de tecnologias de informação, computação, comunicação e conectividade, produzindo mudanças estruturais que ultrapassam a simples informatização de rotinas existentes (VIAL, 2019). A distinção é relevante: digitalizar um formulário de inspeção significa apenas transpor para meio eletrônico um registro previamente em papel, ao passo que transformar digitalmente o processo de inspeção implica reorganizar o fluxo de trabalho em torno de dados capturados automaticamente, verificáveis e reutilizáveis.

Estudos sobre maturidade digital indicam que organizações que combinam capacidade tecnológica com capacidade de liderança na condução da mudança obtêm desempenho superior àquelas que investem apenas em tecnologia (WESTERMAN; BONNET; MCAFEE, 2014). No setor público de infraestrutura, essa combinação enfrenta obstáculos específicos, entre os quais a rigidez dos processos licitatórios, a rotatividade de equipes técnicas, a heterogeneidade dos sistemas legados e a exigência de rastreabilidade documental para fins de controle externo.

Nesse contexto, soluções que produzem evidências digitais nativamente georreferenciadas oferecem vantagem particular. Cada ocorrência registrada passa a carregar consigo o momento da captura, a posição geográfica, a classe atribuída e o escore de confiança do modelo, permitindo auditoria posterior e comparação entre levantamentos. A informação deixa

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

de ser um relato e passa a ser um registro estruturado, condição necessária para a construção de séries históricas e para o emprego de técnicas analíticas de priorização.

É preciso, contudo, reconhecer que a introdução de sistemas automatizados em processos de fiscalização suscita questões que ultrapassam a esfera técnica. A atribuição automática de uma classe a um objeto detectado não equivale à caracterização jurídica de uma irregularidade, que depende de análise cadastral e normativa. Sistemas dessa natureza devem, portanto, ser posicionados como instrumentos de triagem e de apoio à decisão, preservando a competência do agente público quanto ao juízo final. Essa delimitação é condição tanto de adequação jurídica quanto de aceitação organizacional.

1.4. Formação aplicada e aprendizagem baseada em projetos

A formação em cursos de tecnologia da informação tem sido pressionada a reduzir a distância entre os conteúdos curriculares e as práticas efetivamente demandadas pelo mercado. A aprendizagem baseada em projetos responde a essa pressão ao organizar o percurso formativo em torno de problemas autênticos, de solução aberta, cuja resolução exige a mobilização integrada de conhecimentos oriundos de diferentes componentes curriculares (BLUMENFELD et al., 1991; BENDER, 2014).

A perspectiva da aprendizagem experiencial oferece fundamentação complementar, ao descrever o aprendizado como ciclo que articula experiência concreta, observação reflexiva, conceituação abstrata e experimentação ativa (KOLB, 1984). Projetos de pesquisa aplicada conduzidos em ambiente universitário reúnem condições favoráveis para percorrer esse ciclo, na medida em que confrontam os estudantes com restrições reais de dados, de prazo e de infraestrutura, obrigando-os a revisar hipóteses e a tomar decisões técnicas justificadas.

No caso específico de projetos que envolvem aprendizagem de máquina, o valor formativo estende-se a competências pouco exercitadas em atividades acadêmicas convencionais. A construção de um conjunto de dados anotado exige decisões sobre critérios de rotulagem, tratamento de casos ambíguos e balanceamento entre classes. A avaliação do modelo exige compreensão das métricas e de suas limitações. A discussão sobre falsos positivos e falsos negativos exige a articulação entre desempenho estatístico e consequências práticas do erro. Essas competências situam-se na intersecção entre conhecimento técnico e julgamento profissional, e dificilmente se desenvolvem fora de contextos de aplicação.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

2. METODOLOGIA

2.1. Delineamento da pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como aplicada quanto à natureza, exploratória e descritiva quanto aos objetivos e qualitativa com apoio quantitativo quanto à abordagem, uma vez que combina a descrição do processo de concepção do artefato com a mensuração objetiva do desempenho do modelo de detecção (GIL, 2019).

Como método de condução, adotou-se a *Design Science Research*, orientada à produção e à avaliação de artefatos destinados a resolver classes de problemas identificadas em contextos organizacionais (HEVNER et al., 2004; DRESCH; LACERDA; ANTUNES JÚNIOR, 2015). A escolha justifica-se pela natureza do objeto: o estudo não visa apenas descrever um fenômeno existente, mas construir um artefato inexistente e avaliar sua utilidade diante de um problema prático. Operacionalmente, seguiu-se a estruturação em seis atividades proposta por Peffers et al. (2007), das quais cinco foram cumpridas no recorte aqui relatado, conforme detalhado na sequência.

2.2. Etapas do percurso

A primeira etapa, de identificação do problema e motivação, compreendeu revisão da literatura técnica e normativa sobre gestão de faixas de domínio, análise dos procedimentos de inspeção adotados no trecho de referência e levantamento das limitações do registro manual de ocorrências. Essa etapa produziu a delimitação do problema e a justificativa da pertinência de uma solução automatizada de triagem.

A segunda etapa, de definição dos objetivos da solução, converteu as limitações identificadas em requisitos. Foram especificados requisitos funcionais relativos à captura de vídeo com registro simultâneo de coordenadas geográficas, à detecção automática de elementos de interesse, à estimativa da posição relativa desses elementos em relação ao bordo da pista, ao armazenamento estruturado das ocorrências e à disponibilização de interface de consulta. Foram igualmente especificados requisitos não funcionais relativos a custo de aquisição do equipamento de captura, autonomia de operação em campo, tempo de processamento e usabilidade por operadores sem formação em computação.

A terceira etapa, de projeto e desenvolvimento, contemplou a definição da arquitetura em camadas, a seleção da arquitetura de rede neural, a construção do conjunto de dados anotado, o treinamento do modelo e a implementação dos módulos de captura, processamento, persistência e apresentação. A definição das classes de detecção resultou de análise dos

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

elementos com maior frequência de ocorrência no trecho de referência e da consulta a critérios de segurança viária relativos à zona livre.

A quarta etapa, de demonstração, consistiu na aplicação do artefato sobre material de vídeo coletado em trecho da rodovia estadual ERS-389. A coleta foi realizada com dispositivo móvel fixado em veículo em deslocamento, em condições de luminosidade diurna, com registro contínuo de posição geográfica.

A quinta etapa, de avaliação, apoiou-se em duas frentes. A avaliação quantitativa do modelo empregou as métricas de precisão, revocação, mAP50 e mAP50-95 sobre conjunto de validação previamente separado e não utilizado no treinamento. A avaliação qualitativa apoiou-se na inspeção visual das detecções produzidas, com identificação dos padrões de erro predominantes e das condições de captura associadas à degradação do desempenho.

2.3. Conjunto de dados e procedimentos de treinamento

O conjunto de dados foi construído a partir da extração de quadros dos vídeos coletados, com amostragem em intervalo regular a fim de reduzir a redundância entre quadros consecutivos. A anotação foi realizada manualmente, mediante demarcação de caixas delimitadoras e atribuição de rótulos segundo as classes previamente definidas. Adotou-se protocolo de rotulagem com critérios explícitos para casos de oclusão parcial, de objetos parcialmente visíveis nas bordas do quadro e de elementos situados além do alcance de interesse.

O conjunto foi particionado em subconjuntos de treinamento e de validação, preservando-se a separação entre trechos de origem a fim de reduzir o risco de vazamento de informação entre partições. O treinamento partiu de pesos pré-treinados em base de propósito geral, estratégia de transferência de aprendizagem que reduz a quantidade de dados anotados necessária para convergência satisfatória. Foram empregadas técnicas de aumento de dados baseadas em transformações geométricas e fotométricas, com o objetivo de ampliar a variabilidade das amostras e mitigar o sobreajuste.

As métricas foram calculadas sobre o conjunto de validação ao final do processo de treinamento, adotando-se os limiares convencionais de sobreposição descritos na literatura. Registra-se, como limitação metodológica relevante, que o conjunto de dados construído reflete as condições específicas do trecho amostrado, em termos de vegetação, tipologia construtiva do entorno e padrão de iluminação, o que restringe a generalização direta dos resultados para outras regiões.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Arquitetura da solução

O artefato foi estruturado em cinco camadas funcionais, organizadas de modo a permitir a substituição independente de seus componentes. A camada de coleta é responsável pela captura do vídeo por meio de dispositivo móvel, dispensando equipamento especializado e reduzindo o custo de entrada da solução. A camada de sincronização associa cada quadro extraído à coordenada geográfica correspondente, obtida do receptor de posicionamento do próprio dispositivo, produzindo o vínculo entre evidência visual e localização. A camada de processamento executa a inferência do modelo de detecção sobre os quadros e aplica as regras de negócio relativas à posição dos objetos identificados. A camada de armazenamento persiste as ocorrências em estrutura relacional, preservando classe, escore de confiança, coordenadas, instante de captura e referência ao quadro de origem. A camada de apresentação disponibiliza as ocorrências para consulta, permitindo filtragem por trecho, por classe e por período. O Quadro 1 sintetiza as responsabilidades de cada camada.

Quadro 1. Camadas funcionais do artefato e respectivas responsabilidades

Camada	Responsabilidade principal	Saída produzida
Coleta	Captura de vídeo em deslocamento por dispositivo móvel	Arquivo de vídeo e trilha de posições
Sincronização	Associação entre quadros extraídos e coordenadas geográficas	Quadros georreferenciados
Processamento	Inferência do modelo de detecção e aplicação das regras de posição	Detecções classificadas e sinalizadas
Armazenamento	Persistência estruturada das ocorrências e das evidências	Registros consultáveis e auditáveis
Apresentação	Consulta, filtragem e visualização gerencial das ocorrências	Relatórios e listagens por trecho e classe

Fonte: elaborado pelos autores.

A separação em camadas atende a requisito de manutenibilidade e responde a uma restrição prática relevante: a evolução acelerada das arquiteturas de detecção torna provável a substituição do modelo ao longo do ciclo de vida do sistema. Ao isolar a inferência em camada própria, com contrato definido de entrada e de saída, viabiliza-se a atualização do componente sem reescrita das demais partes.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.2. Classes de detecção e critério de zona livre

Foram definidas oito classes de detecção, selecionadas a partir da frequência de ocorrência no trecho de referência e da pertinência para a avaliação de risco: poste, placa, árvore, obstáculo, aerogerador, arbusto, caminhão e carro. A inclusão de classes correspondentes a veículos justifica-se por duas razões. A primeira é operacional, pois veículos estacionados ou em manobra na faixa lateral configuram situação de interesse para a fiscalização. A segunda é técnica, uma vez que a presença dessas classes no conjunto de treinamento reduz a ocorrência de classificações equivocadas em que elementos móveis seriam atribuídos a categorias de mobiliário fixo.

Sobre as detecções, aplica-se o critério de zona livre. Adotou-se, no recorte estudado, a distância de nove metros contados a partir do bordo da pista como limite de referência, valor compatível com as recomendações aplicáveis à classe funcional e à velocidade de projeto do trecho analisado. Objetos rígidos detectados dentro dessa faixa são sinalizados como ocorrências de interesse prioritário, ao passo que detecções situadas além desse limite são registradas sem marcação de prioridade. Trata-se de parâmetro configurável, e não de constante do sistema, precisamente porque a largura recomendada varia conforme as características do trecho.

Cabe registrar uma limitação técnica pertinente. A estimativa de distância a partir de imagem monocular capturada por dispositivo móvel em movimento está sujeita a erro apreciável, decorrente de variações no ângulo de fixação da câmera, na inclinação da via e nas dimensões reais dos objetos detectados. Por essa razão, a sinalização produzida pelo sistema deve ser interpretada como indicação de necessidade de verificação, e não como medição de engenharia. A calibração da estimativa e a incorporação de sensores complementares constituem frente prioritária de desenvolvimento.

3.3. Desempenho do modelo de detecção

A avaliação do modelo sobre o conjunto de validação produziu os resultados sintetizados no Quadro 2.

Quadro 2. Métricas de avaliação do modelo de detecção sobre o conjunto de validação

Métrica	Valor	Interpretação
Precisão	0,87	Proporção de detecções corretas entre as detecções produzidas
Revocação	0,81	Proporção de objetos presentes que foram efetivamente detectados
mAP50	0,89	Precisão média com limiar de sobreposição de 0,50
mAP50-95	0,63	Precisão média calculada sobre limiares de 0,50 a 0,95

Fonte: elaborado pelos autores.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A precisão de 0,87 indica que aproximadamente treze por cento das detecções produzidas correspondem a falsos positivos. Em um contexto de triagem assistida, esse patamar é operacionalmente aceitável, pois o custo de verificação de um alerta indevido é substancialmente inferior ao custo de deslocamento de equipe para inspeção presencial de trecho integral. A revocação de 0,81 indica que cerca de um quinto dos objetos presentes deixou de ser detectado, o que constitui a limitação mais sensível do resultado. Falsos negativos em sistemas de inspeção implicam risco de omissão, razão pela qual a solução não pode substituir a inspeção humana, apenas orientar sua priorização.

A diferença entre mAP50 e mAP50-95 merece atenção específica. O valor de 0,89 no primeiro indicador demonstra que o modelo localiza corretamente os objetos quando se admite sobreposição moderada entre a caixa predita e a caixa de referência. A queda para 0,63 no segundo indicador revela que a delimitação precisa das fronteiras dos objetos permanece imperfeita. Esse comportamento é esperado em domínios que incluem classes de contorno irregular, como árvores e arbustos, cuja demarcação apresenta ambiguidade mesmo na anotação humana. Para a finalidade pretendida, a localização aproximada é suficiente, uma vez que o interesse recai sobre a presença e a posição relativa do objeto, e não sobre sua medição dimensional.

A inspeção qualitativa das detecções permitiu identificar três padrões predominantes de erro. O primeiro refere-se à confusão entre classes vegetais, notadamente entre árvore e arbusto, em situações de vegetação densa e contínua nas quais a fronteira entre indivíduos é indistinta. O segundo refere-se à degradação do desempenho em condições de contraluz e de sombreamento acentuado, com perda de detecções de elementos escuros contra fundo iluminado. O terceiro refere-se a objetos situados a maior distância da via, cuja representação em poucos *pixels* compromete a discriminação entre classes de geometria semelhante, como poste e placa vista de perfil.

3.4. Comparação com o processo tradicional de inspeção

A comparação entre o processo tradicional e o processo assistido pelo artefato deve ser feita em termos de complementaridade, e não de substituição. O Quadro 3 sintetiza as diferenças observadas nas dimensões consideradas mais relevantes para a gestão.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Quadro 3. Comparação entre inspeção tradicional e inspeção assistida pelo artefato

Dimensão	Inspeção tradicional	Inspeção assistida
Cobertura territorial	Limitada pelo esforço humano disponível	Ampliada pela captura em deslocamento contínuo
Georreferenciamento	Manual e sujeito a omissão	Automático e vinculado a cada ocorrência
Padronização	Dependente do critério individual do inspetor	Definida por classes e limiares explícitos
Rastreabilidade	Fragmentada entre relatórios e fotografias	Registro estruturado com evidência associada
Juízo técnico final	Exercido pelo inspetor em campo	Preservado, com apoio de triagem prévia

Fonte: elaborado pelos autores.

O ganho mais expressivo situa-se na etapa de priorização. Ao produzir uma lista georreferenciada de ocorrências candidatas, o sistema permite que o deslocamento das equipes seja direcionado para os pontos de maior interesse, convertendo a inspeção de um procedimento de varredura em um procedimento de verificação dirigida. Esse deslocamento de lógica tem implicação orçamentária direta, pois reduz o custo por ocorrência efetivamente tratada.

Há, contudo, condições de contorno que precisam ser explicitadas para evitar expectativa desproporcional quanto ao alcance da solução. A detecção automática identifica a presença de um elemento, mas não determina sua regularidade jurídica, que depende de confronto com o cadastro fundiário e com a normatização municipal aplicável. Do mesmo modo, a solução opera sobre o que é visível a partir da via, não alcançando ocupações situadas fora do campo de visão da câmera. Essas fronteiras devem constar de qualquer especificação de implantação, sob pena de comprometer a confiança dos usuários no instrumento.

3.5. Dimensão formativa da experiência

O desenvolvimento do artefato foi conduzido com participação direta de estudantes de graduação em cursos da área de computação, vinculados ao projeto na condição de bolsistas de iniciação científica, sob orientação docente. A experiência permitiu observar ganhos formativos em três frentes distintas.

A primeira frente diz respeito ao trabalho com dados. A necessidade de construir o conjunto anotado confrontou os estudantes com decisões que não possuem resposta única, como a definição de critérios para rotular vegetação contínua ou para tratar objetos parcialmente ocluídos. Essa experiência evidenciou que a qualidade do conjunto de dados é determinante do desempenho final e que o esforço de anotação representa parcela substancial do custo de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

projetos de aprendizagem de máquina, aspecto frequentemente subestimado em abordagens exclusivamente teóricas.

A segunda frente diz respeito à leitura crítica de métricas. A observação de que um modelo pode apresentar mAP50 elevado e simultaneamente mAP50-95 modesto conduziu à discussão sobre o significado prático de cada indicador e sobre a inadequação de reduzir a avaliação a um número único. De modo análogo, a análise das consequências assimétricas entre falsos positivos e falsos negativos no contexto de inspeção viária introduziu a noção de que a escolha do limiar de decisão é decisão de projeto orientada pelo domínio de aplicação, e não parâmetro técnico neutro.

A terceira frente diz respeito à articulação entre requisitos técnicos e restrições do contexto de uso. A definição do requisito de captura por dispositivo móvel decorreu diretamente da restrição orçamentária do cenário de aplicação, e a decisão de tratar a estimativa de distância como indicação e não como medição decorreu do reconhecimento das limitações do sensoriamento disponível. Essas decisões exemplificam a natureza situada da engenharia de software, na qual a solução tecnicamente mais sofisticada nem sempre é a mais adequada.

Do ponto de vista pedagógico, a experiência corrobora os pressupostos da aprendizagem baseada em projetos e da aprendizagem experiencial. O ciclo de formulação de hipótese, implementação, avaliação e revisão foi percorrido repetidas vezes, e o caráter aberto do problema impediu a aplicação mecânica de procedimentos previamente conhecidos. Observa-se, ainda, que a inserção do trabalho estudantil em projeto de pesquisa institucional formalizado confere ao percurso um enquadramento de responsabilidade e de prestação de contas que dificilmente se reproduz em atividades restritas ao ambiente de sala de aula.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o SIAFAX, artefato computacional de apoio à gestão de faixas de domínio rodoviárias baseado em visão computacional e aprendizagem profunda, e discutiu tanto seu desempenho técnico quanto sua dimensão formativa. O problema que orientou a investigação indagava em que medida uma solução dessa natureza é capaz de apoiar a triagem de ocorrências com desempenho compatível com o uso operacional.

Os resultados obtidos permitem responder afirmativamente, com ressalvas explícitas. As métricas alcançadas sobre o conjunto de validação, com precisão de 0,87, revocação de 0,81, mAP50 de 0,89 e mAP50-95 de 0,63, situam o modelo em patamar adequado para a função de triagem assistida, na qual o sistema orienta a priorização do esforço humano sem substituí-lo. A

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

revocação de 0,81 constitui o limite mais relevante, pois implica que uma parcela dos elementos presentes não é sinalizada, o que torna inadequado o uso do artefato como instrumento único de fiscalização.

Do ponto de vista da gestão, a contribuição mais expressiva não reside no ganho de velocidade da detecção, mas na transformação da natureza do registro. A substituição de relatos textuais por ocorrências estruturadas, georreferenciadas e acompanhadas de evidência visual cria as condições para a constituição de séries históricas, para a comparação entre trechos e para a demonstração objetiva de resultados de manutenção. Esse deslocamento é o que caracteriza a transformação digital do processo, em contraste com sua mera informatização.

Do ponto de vista formativo, a experiência evidenciou que projetos de pesquisa aplicada conduzidos com participação estudantil constituem ambiente fecundo para o desenvolvimento de competências que articulam conhecimento técnico e julgamento profissional. A construção do conjunto de dados, a leitura crítica das métricas e a negociação entre requisitos e restrições contextuais mobilizaram capacidades que dificilmente se desenvolvem em situações de aprendizagem fechadas.

As limitações do estudo devem ser explicitamente reconhecidas. O conjunto de dados reflete as condições específicas de um único trecho rodoviário, em região de características próprias quanto a vegetação, ocupação do entorno e padrão de iluminação, o que restringe a generalização dos resultados. A avaliação foi conduzida em condições diurnas favoráveis, sem cobertura de cenários noturnos ou de precipitação intensa. A estimativa de distância a partir de imagem monocular apresenta erro não desprezível e ainda não foi calibrada contra medições de referência. Por fim, o artefato foi avaliado quanto ao desempenho do modelo, e não quanto à sua adoção efetiva por equipes operacionais, avaliação que exigiria estudo de campo com usuários reais.

Como desdobramentos, indicam-se cinco frentes de trabalho futuro. A primeira consiste na ampliação e na diversificação do conjunto de dados, com inclusão de trechos de outras regiões e de condições adversas de captura. A segunda consiste na calibração da estimativa de distância, mediante procedimento de referência com medições em campo e eventual incorporação de sensores complementares. A terceira consiste na integração do artefato a bases cadastrais e geográficas oficiais, de modo a permitir o confronto entre a detecção e a informação fundiária. A quarta consiste na avaliação de usabilidade e de aceitação junto a equipes de inspeção, com emprego de instrumentos próprios de avaliação de sistemas de informação. A quinta consiste na análise sistemática do impacto formativo da participação estudantil, com desenho metodológico específico para essa finalidade.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em síntese, a pesquisa sustenta que a associação entre visão computacional e captura georreferenciada de baixo custo constitui caminho promissor para qualificar a gestão de faixas de domínio rodoviárias, desde que a solução seja posicionada como instrumento de apoio à decisão e que suas limitações sejam explicitadas aos usuários. Sustenta, igualmente, que projetos dessa natureza podem cumprir função dupla, produzindo simultaneamente conhecimento aplicado e formação profissional qualificada.

REFERÊNCIAS

BENDER, W. N. *Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI*. Porto Alegre: Penso, 2014.

BLUMENFELD, P. C.; SOLOWAY, E.; MARX, R. W.; KRAJCIK, J. S.; GUZDIAL, M.; PALINCSAR, A. Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, v. 26, n. 3-4, p. 369-398, 1991. DOI: https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139.

BRADSKI, G. The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools*, v. 25, n. 11, p. 120-125, 2000.

BRASIL. *Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979*. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 3 out. 2026.

BRASIL. *Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997*. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: Presidência da República, 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503.htm. Acesso em: 3 out. 2026.

BRASIL. *Lei nº 13.913, de 25 de novembro de 2019*. Altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, para assegurar o direito de permanência de edificações na faixa não edificável contígua às faixas de domínio público de rodovias e para possibilitar a redução da extensão dessa faixa não edificável por lei municipal ou distrital. Brasília: Presidência da República, 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/lei/l13913.htm. Acesso em: 3 out. 2026.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de conservação rodoviária*. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2005. (Publicação IPR-710).

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de implantação básica de rodovia*. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2010. (Publicação IPR-742).

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES JÚNIOR, J. A. V. *Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, 2015.

EVERINGHAM, M.; VAN GOOL, L.; WILLIAMS, C. K. I.; WINN, J.; ZISSERMAN, A. The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge. *International Journal of Computer Vision*, v. 88, n. 2, p. 303-338, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s11263-009-0275-4.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. *Deep learning*. Cambridge: MIT Press, 2016.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, v. 28, n. 1, p. 75-105, 2004. DOI: https://doi.org/10.2307/25148625.

JOCHER, G.; CHAURASIA, A.; QIU, J. *Ultralytics YOLOv8*. Versão 8.0.0. 2023. Disponível em: https://github.com/ultralytics/ultralytics. Acesso em: 20 ago. 2026.

KOLB, D. A. *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1984.

LECUN, Y.; BENGIO, Y.; HINTON, G. Deep learning. *Nature*, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015. DOI: https://doi.org/10.1038/nature14539.

LIN, T.-Y.; MAIRE, M.; BELONGIE, S.; HAYS, J.; PERONA, P.; RAMANAN, D.; DOLLÁR, P.; ZITNICK, C. L. Microsoft COCO: common objects in context. In: EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION (ECCV), 13., 2014, Zurique. *Proceedings*. Cham: Springer, 2014. p. 740-755. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-10602-1_48.

PADILLA, R.; NETTO, S. L.; SILVA, E. A. B. da. A survey on performance metrics for object-detection algorithms. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, SIGNALS AND IMAGE PROCESSING (IWSSIP), 27., 2020, Niterói. *Proceedings*. Niterói: IEEE, 2020. p. 237-242. Disponível em: https://www.smt.ufrj.br/~sergioln/papers/IC70.pdf. Acesso em: 3 out. 2026.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, v. 24, n. 3, p. 45-77, 2007. DOI: https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302.

REDMON, J.; DIVVALA, S.; GIRSHICK, R.; FARHADI, A. You only look once: unified, real-time object detection. In: IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR), 2016, Las Vegas. *Proceedings*. Las Vegas: IEEE, 2016. p. 779-788. DOI: https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91.

VIAL, G. Understanding digital transformation: a review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, v. 28, n. 2, p. 118-144, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.01.003.

WESTERMAN, G.; BONNET, D.; MCAFEE, A. *Leading digital: turning technology into business transformation*. Boston: Harvard Business Review Press, 2014.

ZHAO, Z.-Q.; ZHENG, P.; XU, S.-T.; WU, X. Object detection with deep learning: a review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, v. 30, n. 11, p. 3212-3232, 2019. DOI: https://doi.org/10.1109/TNNLS.2018.2876865.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.