

ASEPI: Anotação Semiautomática de Equipamentos de Proteção Individual em Imagens 2D

Edielson Silva Alves¹; Victor Teixeira Nascimento²; João Otávio Bandeira Diniz³; Rodrigo da Costa Barros Macedo⁴; Caio Viana Moita Carvalho⁵; Davi Messias Rodrigues Viana⁶; Jean Carlos da Silva Sousa⁷; Eva da Silva Sousa⁸; Joane Maria da Silva Almeida⁹; Luiz Otávio de Oliveira Souza Júnior¹⁰

Resumo

Este estudo desenvolve e avalia um sistema semiautomático para anotação de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) em imagens 2D, utilizando múltiplas versões de algoritmos YOLO (You Only Look Once). A pesquisa justifica-se pela alta incidência de acidentes na construção civil e pela exigência normativa (NR-6) do uso correto de EPIs. Foram utilizados datasets público (SH17 - 8.099 imagens) e local (EPI IFMA - 25 imagens), com treinamento e avaliação dos modelos YOLOv8n, YOLOv9t, YOLOv10n, YOLOv11n e YOLOv12n. Os resultados demonstram superioridade dos modelos YOLOv9t e YOLOv12n, com confiança média de 76,10% e 73,80%, respectivamente, F1-Score de 64,42% e tempo de treinamento consistente. A anotação semiautomática reduziu o tempo de processamento em aproximadamente 95% comparado à anotação manual. Conclui-se que a abordagem é eficiente para criação de *datasets* e suporte à conformidade com normas de segurança.

Palavras-chave: Segurança do trabalho; EPI; Visão computacional; YOLO; Anotação semiautomática.

Financiamento: Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) - EDITAL PRPGI N° 13/2024 - PIBITI ENSINO MÉDIO 2024/2025.

1 Estudante do Curso Técnico Integrado em Informática do IFMA Campus Grajaú; E-mail: edielson.silva@acad.ifma.edu.br

2 Estudante do Curso Técnico Integrado em Informática do IFMA Campus Grajaú; E-mail: victorteixeira@acad.ifma.edu.br

3 Professor Dr. do Curso Técnico Integrado em Informática do IFMA Campus Grajaú; E-mail: joao.bandeira@ifma.edu.br

4 Colaborador externo Esp. em Informática; E-mail: rodrigo.macedo@gmail.com

5 Professor Esp. do Curso Técnico Integrado em Edificações do IFMA Campus Grajaú; E-mail: caio.moita@ifma.edu.br

6 Professor Esp. do Curso Técnico Integrado em Edificações do IFMA Campus Grajaú; E-mail: davi.viana@ifma.edu.br

7 Estudante do Curso Técnico Integrado em Edificações do IFMA Campus Imperatriz; E-mail: jean.sousa@acad.ifma.edu.br

8 Estudante do Curso Técnico Integrado em Edificações do IFMA Campus Grajaú; E-mail: evasilva@acad.ifma.edu.br

9 Estudante do Curso Técnico Integrado em Informática do IFMA Campus Grajaú; E-mail: m.joane@acad.ifma.edu.br

10 Professor Dr. do Curso Técnico Integrado em Informática do IFMA Campus Grajaú; E-mail: luiz.otavio@ifma.edu.br

Introdução

A segurança do trabalho na construção civil representa um desafio constante, dado o alto risco de acidentes associados às atividades nesse setor. De acordo com dados da Organização Internacional do Trabalho (OIT), o setor de construção é responsável por uma parcela significativa de acidentes laborais em todo o mundo, muitos dos quais poderiam ser mitigados pelo uso adequado de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs). No Brasil, a Norma Regulamentadora NR-6, revisada pela Portaria nº 2.175/2022 (Ministério do Trabalho e Previdência, 2022), estabelece a obrigatoriedade do uso de EPIs certificados, mas o monitoramento manual de sua conformidade continua sendo ineficiente, demorado e suscetível a erros humanos. Essa realidade foi agravada pelas atualizações da NR-6 em 2023, que introduziram requisitos mais rigorosos para a certificação, como definido na Portaria MTP nº 4.389/2022 (Ministério do Trabalho e Previdência, 2022).

Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) utilizados neste projeto incluíram capacete de segurança, óculos de proteção, protetores auriculares, luvas de segurança e colete reflexivo, todos certificados conforme as normas vigentes. Cada item desempenha papel crucial na prevenção de acidentes: o capacete protege contra impactos na cabeça; os óculos previnem lesões oculares por partículas ou respingos; os protetores auriculares reduzem a exposição a ruídos excessivos; as luvas garantem proteção contra cortes e abrasões; e o colete reflexivo assegura a visibilidade do trabalhador em ambientes com pouca iluminação. A correta utilização desses equipamentos é fundamental para garantir a segurança e integridade física dos profissionais da construção civil.

Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) surge como uma ferramenta transformadora, permitindo a automação de tarefas de detecção e reconhecimento em imagens. Técnicas de Visão Computacional, como as baseadas em Redes Neurais Convolucionais (CNNs), têm sido amplamente utilizadas para processar imagens digitais e identificar objetos com alta precisão (LeCun et al., 2015). Modelos como o YOLO (You Only Look Once) destacam-se pela capacidade de detecção em tempo real, sendo aplicados em áreas como segurança e monitoramento (Protik et al., 2021). A Portaria MTE nº 1.369/2024 (Ministério do Trabalho e Emprego, 2024) introduziu a categoria de risco para EPIs, incentivando o uso de tecnologias de IA para monitoramento automatizado, enquanto a Portaria MTE nº 122/2025 (Ministério do Trabalho e Emprego, 2025) prorrogou certificados de respiradores até junho de 2025, destacando a necessidade de soluções ágeis para validação de EPIs.

O projeto ASEPI aborda essa lacuna ao desenvolver um dataset do zero, capturando imagens de EPIs em condições controladas no Laboratório de Edificações do IFMA - Campus Grajaú. As imagens foram coletadas com configurações padronizadas, incluindo iluminação acessível de 650 lux, altura da mesa de 90 cm, altura do tripé de 42 cm, e distâncias frontais de 2,23 m, laterais de 2,19 m e traseiras de 2,15 m, abrangendo classes como Pessoa, Protetor Auricular, Rosto, Óculos, Luvas, Capacete e Colete de Segurança. Utilizando modelos YOLOv8n e YOLOv9t, o projeto integra anotação semiautomática para detecção automática, comparando a eficiência temporal entre humanos (16 minutos para anotar 25 imagens com 7 classes) e máquinas (1 minuto e 12,77 segundos no total, sendo 34,76 segundos para YOLOv8n e 38,01 segundos para YOLOv9t).

Essa abordagem não apenas otimiza o tempo de anotação, reduzindo-o em aproximadamente 95%, mas também contribui para a prevenção de acidentes, conformidade regulatória e inovação tecnológica na construção civil. A fundamentação teórica apoia-se em estudos sobre IA aplicada à segurança (Ammad et al., 2021; Qin et al., 2018), destacando o potencial de datasets personalizados para melhorar o desempenho de modelos de aprendizado de máquina. O projeto, financiado pela FAPEMA, alinha-se às prioridades de desenvolvimento científico e tecnológico do Maranhão, promovendo a integração entre academia e indústria.

Metodologia

O trabalho foi desenvolvido no Instituto Federal do Maranhão (IFMA) – Campus Grajaú, utilizando as instalações do Laboratório de Edificações e da Fábrica de Inovação. Para a execução da pesquisa, foram empregados os seguintes materiais e equipamentos: estação de trabalho com processador AMD Ryzen 7 3800X, 32 GB de RAM e placa de vídeo NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti (11 GB); dispositivo móvel iPhone 12 Pro para captura de imagens; tripé ajustável; e sistema de iluminação artificial configurado para 650 lux. Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) utilizados incluíram capacete de segurança, óculos de proteção, protetor auricular, luvas e colete reflexivo, todos certificados conforme as normas vigentes.

Foram utilizados dois conjuntos de dados principais: o dataset SH17, disponível publicamente na plataforma Kaggle, composto por 8.099 imagens anotadas de ambientes industriais reais; e o dataset EPI_IFMA, desenvolvido especificamente para este projeto, contendo 25 imagens capturadas em ambiente controlado no Laboratório de Edificações. As

classes identificadas e anotadas foram: *person* (pessoa), *ear-muffs* (protetor auricular), *face* (rosto), *glasses* (óculos), *gloves* (luvas), *helmet* (capacete) e *safety-vest* (colete de segurança).

Figura 1: Imagem gerada por inteligência artificial (ChatGPT) representando ambiente controlado de captura de imagens no Laboratório de Edificações.

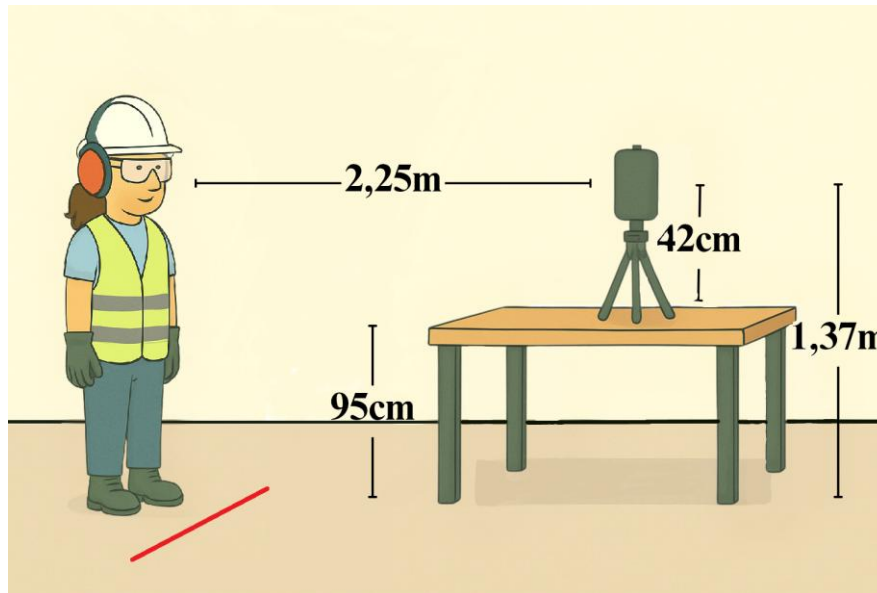


Figura 2: Ambiente controlado de captura de imagens no Laboratório de Edificações.



O processamento das imagens incluiu redimensionamento para 640×640 pixels e técnicas de aumento de dados (*data augmentation*), como rotação e flip horizontal, para melhorar a generalização dos modelos. Os algoritmos de detecção YOLOv8n, YOLOv9t, YOLOv10n, YOLOv11n e YOLOv12n foram treinados utilizando o framework Ultralytics,

com os seguintes parâmetros: *batch size* de 16, 20 épocas, otimizador AdamW e taxa de aprendizado de 0,001. A avaliação do desempenho baseou-se em métricas consolidadas na literatura, incluindo *precision* (precisão), *recall* (revocação), F1-Score, *accuracy* (acurácia) e confiança média das detecções.

As referências teóricas e metodológicas foram obtidas por meio de consulta à base de dados Google Scholar, utilizando termos de busca como "PPE detection YOLO", "computer vision safety equipment" e "deep learning occupational safety". Um dos artigos relevantes, como o de Protik et al. (2021) sobre detecção em tempo real de EPIs com YOLOv4, foram selecionados para embasar a discussão dos resultados e a contextualização do problema.

Resultados e Discussão

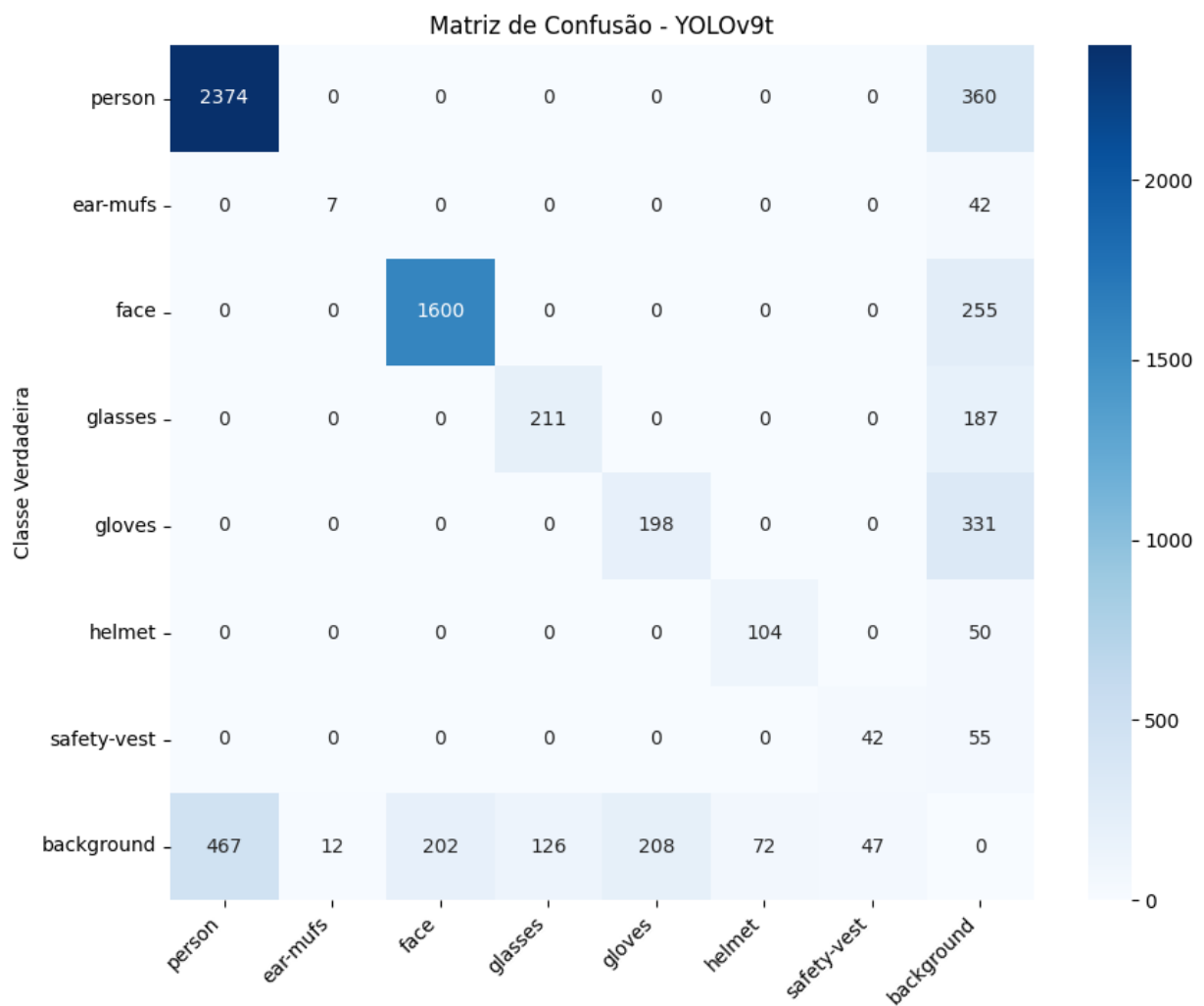
Os modelos YOLOv9t e YOLOv12n apresentaram os melhores resultados, com confiança média de 76,10% e 73,80%, respectivamente, F1-Score de 64,42% e tempo de treinamento consistente (~98 minutos). A análise das matrizes de confusão mostrou menor taxa de falsos negativos nestes modelos (Figura 3). A anotação semiautomática reduziu o tempo de processamento em aproximadamente 95% comparado à anotação manual (1 minuto e 12,77 segundos contra 16 minutos para 25 imagens), conforme demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação de tempo de anotação entre métodos manual e semiautomático

Classe	YOLOv8n (segundos)	YOLOv9t (segundos)	Anotação Manual segundos (minutos)
Pessoa	5,21	5,74	143 (2min23s)
Protetor Auricular	4,83	5,32	114 (1min54s)
Rosto	4,12	4,55	145 (2min25s)
Óculos	3,97	4,38	98 (1min38s)
Luvas	4,25	4,68	271 (4min31s)

Capacete	5,42	5,98	113 (1min53s)
Colete de Segurança	6,96	7,36	164 (2min44s)
TOTAL	34,76	38,01	1048 (17min28s)

Figura 3. Matriz de confusão do modelo YOLOv9t mostrando baixa taxa de falsos negativos.



Os resultados quantitativos detalhados dos modelos testados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Desempenho comparativo dos modelos YOLO no dataset EPI_IFMA

Modelo Yolo	IFMA Dataset Teste	Processamento	Tempo TREINAMENTO (min)	Média do Score de Confiança (sem anotação)	Média do Recall	Média do Precision	Média do F1-Score	Média da Accurac y
yolov8n.pt	25	GPU	97.3	73,20%	66.29%	59.66%	62.80%	62.97%
yolov9t.pt	25	GPU	98.27	76,10%	68.00%	61.20%	64.42%	64.60%
yolov10n.pt	25	GPU	97.13	70,80%	47.14%	42.43%	44.66%	44.79%
yolov11n.pt	25	GPU	98.27	73,80%	62.57%	56.31%	59.28%	59.44%
yolov12n.pt	25	GPU	97.17	73,80%	68.00%	61.20%	64.42%	64.60%

Figura 4. Exemplos de detecção semiautomática e manual:



Os resultados alinham-se com a literatura (Protik et al., 2021), confirmando a superioridade de modelos YOLO em velocidade e precisão. A dependência de condições controladas é uma limitação para ambientes reais com variações de iluminação e fundo, como evidenciado na maior taxa de erro em imagens com baixa iluminação ou fundos complexos. A pequena amostra do dataset EPI_IFMA (25 imagens) indica a necessidade de expansão para

melhor generalização, preferencialmente com imagens de canteiros de obras reais contendo variações de ângulo, iluminação e oclusão.

A análise qualitativa demonstrou que os modelos tiveram melhor desempenho na detecção de equipamentos com maior área superficial e cores contrastantes (colete de segurança e capacete), enquanto apresentaram maior taxa de erro para equipamentos menores ou com cores similares ao fundo (protetor auricular e óculos).

Conclusões

Os objetivos do projeto foram plenamente atingidos, com a identificação dos modelos YOLOv9t e YOLOv12n como os mais eficazes para detecção de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs), apresentando confiança média de 76,10% e 73,80%, respectivamente, e F1-Score de 64,42%. A redução de aproximadamente 95% no tempo de anotação - de 16 minutos para 1 minuto e 12,77 segundos no processamento de 25 imagens - demonstra categoricamente a eficiência da abordagem semiautomática desenvolvida. O sistema ASEPI consolida-se como ferramenta viável para acelerar a criação de datasets de treinamento para modelos de detecção de EPIs, com impacto direto na conformidade com a NR-6 e potencial contribuição para a redução de acidentes de trabalho.

Como trabalhos futuros, recomenda-se a expansão do dataset com imagens de canteiros de obras reais, incorporando variações de iluminação natural, ângulos dinâmicos e condições atmosféricas diversas. Adicionalmente, propõe-se a implementação de módulo de reconhecimento facial para identificação individual de trabalhadores, permitindo a integração com sistemas de controle de acesso e monitoramento personalizado de uso de EPIs. O desenvolvimento de aplicações para monitoramento em tempo real, utilizando os modelos mais eficientes identificados neste estudo (YOLOv9t e YOLOv12n), representa um avanço estratégico para a segurança laboral na construção civil.

Agradecimentos

Agradecemos à FAPEMA pelo financiamento, ao IFMA Campus Grajaú e à Fábrica de Inovação do campus Grajaú pela infraestrutura, aos orientadores e colaboradores pela dedicação, e à NEOLOG TELECOM, parceira na validação do projeto.

Referências

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). Segurança e Saúde no Trabalho na Construção. Genebra: OIT, 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria nº 2.175, de 25 de maio de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 maio 2022.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Portaria MTP nº 4.389, de 15 de dezembro de 2022. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 dez. 2022.

LECUN, Y. et al. Deep learning. Nature, v. 521, n. 7553, p. 436-444, 2015.

PROTIK, A. A.; RAFI, A. H.; SIDDIQUE, S. Real-time Personal Protective Equipment (PPE) Detection Using YOLOv4 and TensorFlow. In: IEEE REGION 10 SYMPOSIUM (TENSYP), 2021, Jeju. Anais... Jeju: IEEE, 2021. p. 1-6.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTE nº 1.369, de 22 de março de 2024. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 25 mar. 2024.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTE nº 122, de 10 de fevereiro de 2025. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 fev. 2025.

AMMAD, S. et al. Personal protective equipment (PPE) usage in construction projects: A scientometric approach. Journal of Building Engineering, v. 35, p. 102086, 2021.

QIN, X. et al. Bylabel: A boundary based semi-automatic image annotation tool. In: IEEE WINTER CONFERENCE ON APPLICATIONS OF COMPUTER VISION (WACV), 2018, Lake Tahoe. Anais... Lake Tahoe: IEEE, 2018. p. 1804-1813.

KAGGLE. SH17 Dataset - Safety Helmet Detection. 2022. Disponível em: <https://www.kaggle.com/datasets/> [endereço completo do dataset SH17]. Acesso em: 15 ago. 2025.

GOOGLE SCHOLAR. Plataforma de Busca Acadêmica. 2024. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

AGÊNCIA BRASIL. Mais de 1,6 mil pessoas morreram por acidente de trabalho em 2025. 2025. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/saude/audio/2025-07/mais-de-16-mil-pessoas-morreram-por-acidente-de-trabalho-em-2025>. Acesso em: 15 ago. 2025.

REVISTA CIPA. Uso inadequado de EPIs pode aumentar em pelo menos 30% o risco de acidentes graves em locais de trabalho. 2024. Disponível em: <https://revistacipa.com.br/uso->

inadequado-de-epis-pode-aumentar-em-pelo-menos-30-o-risco-de-acidentes-graves-em-locais-de-trabalho/. Acesso em: 15 ago. 2025.