

Sistema de classificação e separação de resíduos sólidos baseado em inteligência artificial

Solid waste classification and separation system based on artificial intelligence

Sistema de clasificación y separación de residuos sólidos basado en inteligencia artificial

DOI: 10.52641/cadcajv11i4.2347

Submitted on: 3.16.2026 | Accepted on: 3.16.2026 | Published on: 3.30.2026

João Victor de Angeli Pudo¹
Mateus Rodrigues Santos²
Rodrigo Alves de Oliveira³
Ricardo Hovacker Baldaconi⁴
Antonio Carlos Lemos Carvalho⁵

RESUMO: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma lixeira automatizada baseada em inteligência artificial, voltada à promoção de práticas sustentáveis por meio da automação da coleta seletiva de resíduos recicláveis. O sistema utiliza o algoritmo YOLO para identificar e classificar materiais como papel, plástico, vidro e metal, direcionando-os automaticamente aos compartimentos corretos. A solução foi construída com uma arquitetura acessível, utilizando ESP32-CAM e Raspberry Pi, o que viabiliza sua replicação em larga escala. O projeto atua como ferramenta educativa em contextos sociais e escolares, despertando desde cedo a consciência ambiental em crianças e adolescentes. A proposta busca atender às necessidades da Associação Educacional, Cultural & Social Aprender, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com ênfase em educação de qualidade, inovação e cidades mais sustentáveis. Além de seguir as normas de padronização da coleta seletiva, a estrutura demonstrou alta eficiência, atingindo até 95% de precisão na classificação dos resíduos. Além disso, o sistema propõe uma solução funcional que convida os usuários a interagir com a tecnologia de forma simples e intuitiva. Essa aproximação busca não apenas facilitar o descarte correto dos

¹ Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial, Centro Universitário SENAI - campus Roberto Simonsen, São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: jvpudo8@gmail.com

² Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial, Centro Universitário SENAI - campus Roberto Simonsen, São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: mateusrodrigues4343@gmail.com

³ Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial Centro Universitário SENAI - campus Roberto Simonsen, São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: rodrigo.alves221205@gmail.com

⁴ Mestre em Tecnologia Nuclear, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da USP (IPEN - USP), São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: ricardo.baldaconi@sp.senai.br

⁵ Mestre em Tecnologia na Educação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP-SP), São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: antonioclc@yahoo.com.br

resíduos, mas também incentivar uma postura mais consciente em relação ao meio ambiente. Ao ser incorporada ao cotidiano, a lixeira inteligente passa a representar uma ferramenta de transformação que une educação, inclusão e sustentabilidade, contribuindo para mudanças concretas nos hábitos e valores sociais.

Palavras-chave: lixeira inteligente, Inteligência Artificial, coleta seletiva, sustentabilidade, educação ambiental.

ABSTRACT: This article presents the development of an automated trash bin based on artificial intelligence, aimed at promoting sustainable practices through the automation of selective collection of recyclable waste. The system uses the YOLO algorithm to identify and classify materials such as paper, plastic, glass, and metal, automatically directing them to the appropriate compartments. The solution was built with an accessible architecture using ESP32-CAM and Raspberry Pi, which enables its replication on a large scale. The project acts as an educational tool in social and school contexts, fostering environmental awareness in children and adolescents from an early age. The proposal seeks to meet the needs of the Associação Educacional, Cultural & Social Aprender, contributing to the Sustainable Development Goals (SDGs), with emphasis on quality education, innovation, and more sustainable cities. In addition to following the standard guidelines for selective waste collection, the structure demonstrated high efficiency, reaching up to 95% accuracy in waste classification. Furthermore, the system proposes a functional solution that invites users to interact with the technology in a simple and intuitive way. This approach aims not only to facilitate the proper disposal of waste but also to encourage a more conscious attitude toward the environment. When incorporated into daily life, the smart trash bin becomes a transformative tool that integrates education, inclusion, and sustainability, contributing to concrete changes in social habits and values.

Keywords: smart trash can, Artificial Intelligence, selective collection, sustainability, environmental education.

RESUMEN: Este artículo presenta el desarrollo de un contenedor de basura automatizado basado en inteligencia artificial, orientado a promover prácticas sostenibles mediante la automatización de la recolección selectiva de residuos reciclables. El sistema utiliza el algoritmo YOLO para identificar y clasificar materiales como papel, plástico, vidrio y metal, dirigiéndolos automáticamente a los compartimentos correspondientes. La solución fue desarrollada con una arquitectura accesible, utilizando ESP32-CAM y Raspberry Pi, lo que permite su replicación a gran escala. El proyecto actúa como una herramienta educativa en contextos sociales y escolares, fomentando desde edades tempranas la conciencia ambiental en niños y adolescentes. La propuesta busca atender las necesidades de la Associação Educacional, Cultural & Social Aprender, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con énfasis en educación de calidad, innovación y ciudades más sostenibles. Además de seguir las normas de estandarización de la recolección selectiva, la estructura demostró una alta eficiencia, alcanzando hasta un 95% de precisión en la clasificación de los residuos. Asimismo, el sistema propone una

solución funcional que invita a los usuarios a interactuar con la tecnología de manera simple e intuitiva. Este enfoque busca no solo facilitar la correcta disposición de los residuos, sino también incentivar una actitud más consciente hacia el medio ambiente. Al incorporarse en la vida cotidiana, el contenedor inteligente se convierte en una herramienta de transformación que integra educación, inclusión y sostenibilidad, contribuyendo a cambios concretos en los hábitos y valores sociales.

Palabras clave: papeleras inteligentes, Inteligencia Artificial, recolección selectiva, sostenibilidad, educación ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A Educação Ambiental é fundamental para a vida no planeta, pois não se trata de mais uma disciplina no currículo, ou uma ferramenta para a resolução de problemas ambientais, mas sim um aprendizado voltado para a formação da consciência sobre a postura do homem em relação ao meio ambiente (BRAVO *et al*; 2018).

Nos lares, é comum a utilização da reciclagem e reaproveitamento dos resíduos, começando pela separação dos vários tipos de lixo produzidos para descarte em aterros ou mesmo para reciclagem (CHIUSOLI e DERHON, 2020). Os programas iniciais de coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos surgiram na década de 80, a fim de garantir a redução da geração dos resíduos sólidos domésticos e estimular a reciclagem, com o envolvimento da participação da gestão pública, empresas e segmentos da sociedade civil (NETTO *et al*; 2017).

O objetivo deste projeto é desenvolver uma lixeira inteligente capaz de separar automaticamente o lixo ao ser descartado, através de um sistema de inteligência artificial, independentemente de ele ser papel, metal, vidro ou plástico. Para tanto, faz-se necessário o treinamento desta inteligência artificial para que seja capaz de detectar os diferentes tipos de resíduos presentes na coleta seletiva. Com isso, promovemos uma conscientização para um melhor descarte de lixo.

Este projeto tem o intuito de atender as necessidades da Associação Educacional, Cultural & Social Aprender, que busca promover as práticas educativas de crianças e

adolescentes sem fins lucrativos. O protótipo não busca somente o ensino sobre sustentabilidade, mas também se alinha com os princípios da instituição. Trabalhar educação ambiental na educação infantil cria maiores possibilidades para a formação de cidadãos e cidadãs com maior conscientização e, portanto, melhores comportamentos em relação à temática ambiental e sobre os problemas em relação ao meio ambiente, quer seja ele ainda natural ou somente social (FERREIRA *et al*; 2025).

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A palavra sustentabilidade tem relação em seu conceito com o desenvolvimento sustentável que é pautado com uma reunião de ideias, atitudes e estratégias que são consideradas ecologicamente corretas e que serve como uma alternativa para afiançar a sobrevivência dos recursos naturais do mundo, buscando soluções para um desenvolvimento ecológico e uma qualidade de vida melhor para sociedade atualmente e principalmente no futuro (OLIVEIRA *et al*; 2025).

A sustentabilidade ambiental está relacionada à conservação e preservação dos recursos naturais, garantindo que os ecossistemas continuem funcionando de maneira equilibrada e que os impactos negativos das atividades humanas sejam minimizados. Esse pilar se concentra na redução da poluição, no uso consciente dos recursos hídricos, na conservação da biodiversidade e no combate às mudanças climáticas (MAZZITELLI *et al*; 2025).

O pilar econômico da sustentabilidade aborda a necessidade de criar sistemas econômicos que sejam viáveis a longo prazo. Isso envolve a promoção do crescimento econômico, a geração de empregos, o aumento da produtividade e a busca pela eficiência nos processos produtivos. No entanto, a sustentabilidade econômica vai além do mero crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), ela também se concentra na equidade econômica, na distribuição justa da riqueza e na erradicação da pobreza (MAIA *et al*; 2025).

Na educação a sustentabilidade diz respeito a integração de políticas, práticas e

também de ensinamentos voltados para ensinar os educandos sobre o desenvolvimento sustentável que é tão importante para a qualidade de vida de toda a sociedade, e tem relação direta com a capacidade de sustentação de um sistema por um determinado tempo (OLIVEIRA *et al*; 2025).

Portanto, a participação e sensibilização da população na educação ambiental devem estar inseridas no cotidiano das famílias, no trabalho, na escola e estimular a mudança de hábito no destino de resíduos sólidos (BRAVO *et al*; 2018).

Outro aspecto importante que o descuido com tais materiais levanta é a questão da saúde. Embora não existam dúvidas sobre a importância da atividade de limpeza urbana para o meio ambiente e para a saúde da comunidade, esta percepção não é traduzida em ações efetivas que possibilitem mudanças qualitativas na situação negativa em que se encontram, de forma geral, os sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em toda a América Latina, inclusive no Brasil. Os efeitos adversos dos resíduos sólidos municipais no meio ambiente, na saúde coletiva e na saúde do indivíduo, apontam as deficiências nos sistemas de coleta e disposição final, além da ausência de uma política de proteção à saúde do trabalhador, como os principais fatores geradores desses efeitos (BRANDT *et al*; 2021).

O fortalecimento dos projetos de gestão ambiental local e das comunidades de base está levando os governos federais e estaduais, como também intendências e municipalidades, a instaurar procedimentos para dirimir pacificamente os interesses de diversos agentes econômicos e grupos de cidadãos na resolução de conflitos ambientais, através de um novo contato social entre o Estado e a sociedade civil (CHIUSOLI *et al*; 2023).

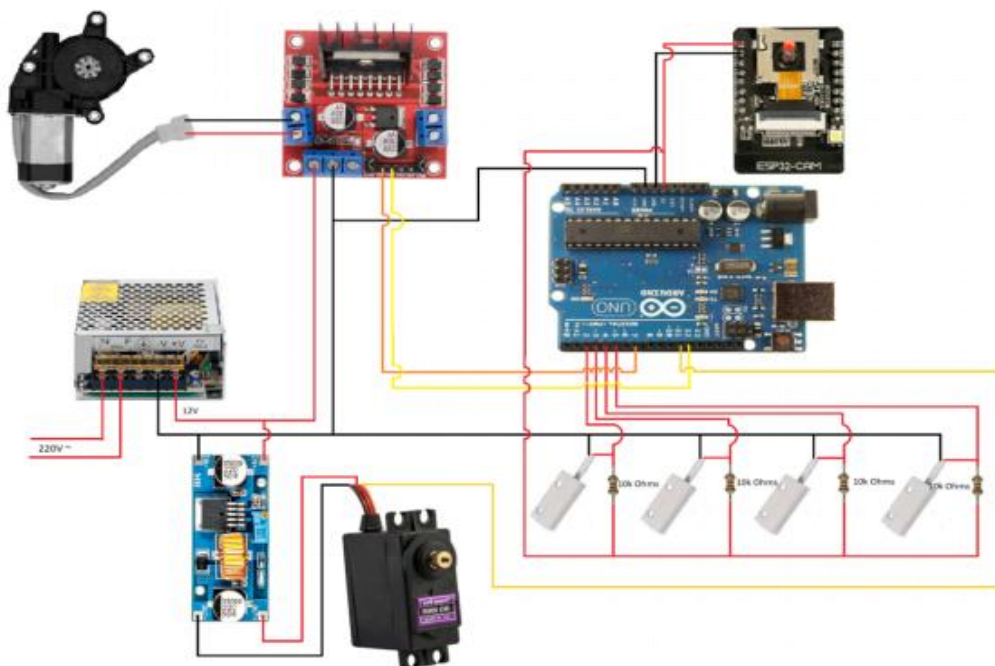
3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do sistema da lixeira inteligente iniciou-se com a escolha de uma câmera adequada para a detecção de resíduos sólidos, priorizando baixo custo, eficiência e facilidade de integração. A câmera selecionada foi a ESP32-CAM (Espressif

Systems), equipado com processador Dual-Core 32-bit LX6, 520 KB de RAM, conectividade Wi-Fi e Bluetooth Integrada e com poder de qualidade de imagem até 2MP (1600x1200). Comparada com uma câmera tradicional (Logitech C270, 1280x720) e com a Raspberry PI Camera Module (até 12 MP), a ESP32-CAM, ela destacou-se por seu custo-benefício acessível, ideal para projetos em larga escala, facilidade de programação, suporte para sensores avançados e flexibilidade de entradas/saídas (16 pinos GPIO) (Nowroz *et al.*, 2025).

Para o acionamento e controle do sentido de giro do motor, o controle do servo motor e sistema de freio optou-se pela utilização do Arduíno UNO, pois é um dispositivo de fácil acesso e tamanho reduzido. Ele é baseado no chip ATmega328P, possui 32 KB de memória flash, 2 KB de SRAM e opera com uma frequência de 16 MHz. Comparando-se com outros dispositivos como o ESP32 (que opera em níveis lógicos de 0V a 3,3V) e o MicroBit (custo elevado), o Arduino UNO destaca-se pelo equilíbrio entre facilidade, custo e suporte para projetos voltados para automação e circuitos eletrônicos (Yeo Cheng Aun *et al.*, 2023). A seguir, temos a figura 1, que representa o esquema elétrico da lixeira.

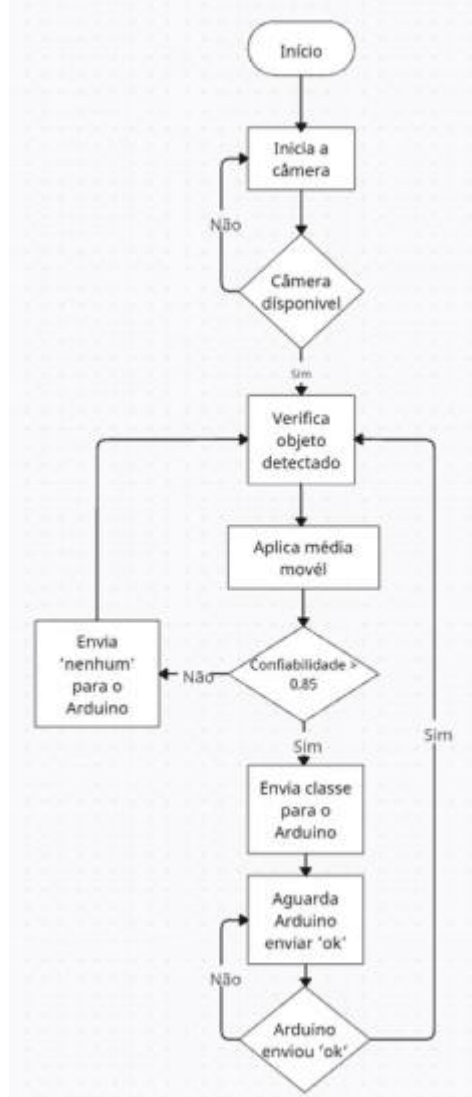
Figura 1. Esquema elétrico



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

O modelo de inteligência artificial foi desenvolvido com base no algoritmo YOLO (You Only Look Once), amplamente utilizado em tarefas de detecção de objetos em tempo real. Comparando-se com outras ferramentas como Faster R-CNN, MediaPipe e RetinaNet, a biblioteca YOLO oferece uma maior precisão e alta velocidade para processamento de dados em tempo real, facilidade de treinar, adaptar e compatível com dispositivos embarcados. O uso combinado de ESP32 CAM com Python e YOLO, oferece uma solução eficiente e de baixo custo para aplicações embarcadas de visão computacional, como sistemas de vigilância, reconhecimento facial, monitoramento ambiental e automação residencial. Essa integração permite capturar imagens em tempo real com o ESP32 CAM, processá-las localmente ou enviá-las para um servidor onde o modelo YOLO pode realizar a detecção de objetos com rapidez e precisão em tempo real. Além disso, o suporte às bibliotecas Python como OpenCV facilita o desenvolvimento e a personalização de aplicações, tornando essa combinação ideal para projetos de IoT e inteligência artificial embarcada. A figura 2 refere-se ao fluxograma do funcionamento da I.A.

Figura 2. Fluxograma programação da câmera com YOLO



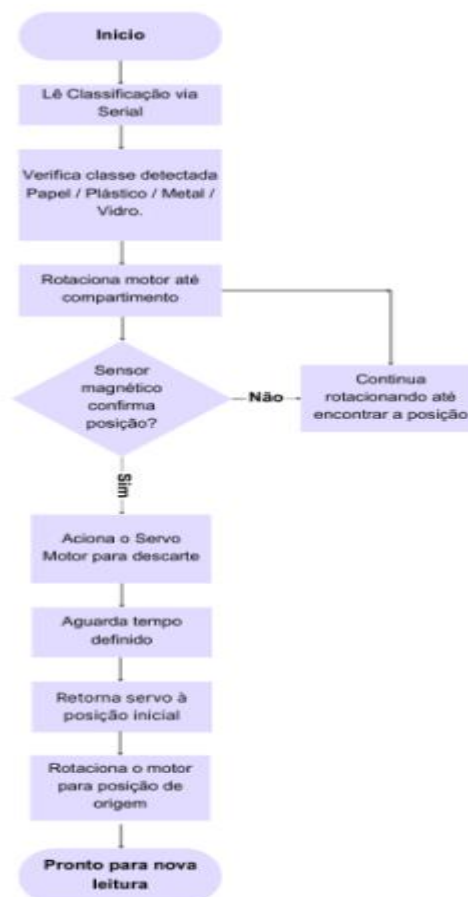
Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Após a identificação do tipo de resíduo por meio de um algoritmo desenvolvido em Python, a classe correspondente é enviada ao microcontrolador por meio da comunicação serial USB. Para esse processo, utilizou-se um notebook Lenovo Ideapad 3i, responsável pelo envio dos dados. Com base na informação recebida, um motor é acionado para transportar o resíduo até o compartimento apropriado. Para garantir uma parada precisa e segura, foram instalados quatro sensores magnéticos ao longo do percurso, que controlam a posição correta para a frenagem do motor. Em seguida, um servomotor é

ativado para realizar o descarte do resíduo no recipiente correto.

Com a conclusão da operação, o motor retorna à sua posição inicial, e o Arduino envia uma mensagem de confirmação ("ok") via serial, sinalizando que o sistema está pronto para uma nova detecção. Como referência para a posição inicial do sistema, definiu-se o sensor *reed switch* correspondente ao compartimento de papel como o ponto de partida para o sentido de giro do motor. A figura 3 indica o fluxograma do funcionamento do projeto.

Figura 3. Fluxograma

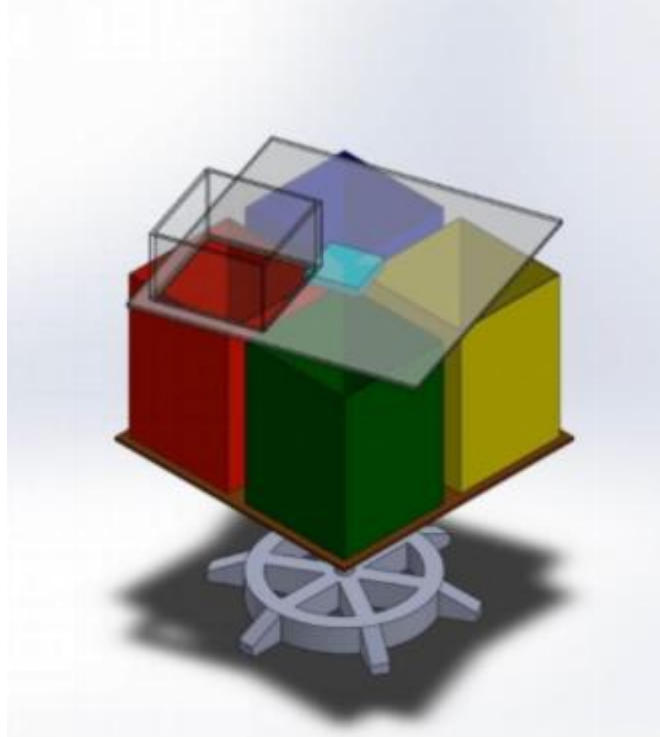


Fonte: Elaborado pelos próprios autores

O sistema mecânico é composto por quatro compartimentos fixados sobre uma base giratória, que permite o posicionamento do recipiente adequado abaixo da abertura

de descarte. Na parte superior, há uma tampa com um canal de entrada que direciona o resíduo para o compartimento correspondente. A identificação do tipo de material é realizada por uma ESP32-CAM, que processa a imagem do resíduo descartado e envia a informação ao algoritmo realizado em Python. A movimentação da base é executada por um motor DC, cujo sentido de rotação (horário ou anti-horário) é controlado por um Arduino Uno, responsável pela lógica de acionamento com base na classificação recebida. A figura 4 ilustra o projeto mecânico.

Figura 4. Estrutura mecânica desenvolvida no SolidWorks



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Os testes de validação do sistema foram conduzidos em iluminação ambiente. O objetivo foi verificar a eficácia da detecção automática de resíduos recicláveis, classificando corretamente os objetos depositados em frente à câmera em uma das quatro categorias: metal, vidro, plástico e papel. No total, foram utilizados 120 resíduos reais, divididos igualmente entre os quatro tipos, com 30 exemplares por categoria. As imagens foram capturadas pela ESP32-CAM e enviadas via rede Wi-Fi a um servidor local para

processamento por YOLOv5, previamente treinado com um dataset balanceado e específico para resíduos sólidos urbanos. Para confirmar o tipo de resíduo detectado, foram utilizados leds para sinalizar o que foi detectado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Mesmo com a imagem apresentando baixa nitidez, devido à limitação de 2 megapixels do módulo ESP32-CAM, o sistema apresentou uma taxa de acerto de 86% durante os testes com objetos de metal, acionado corretamente o led amarelo representativo dos metais, em em 26 dos 30 testes, errando apenas os objetos metálicos com grandes deformações ou tonalidades diferentes. Na figura 5 mostramos este ensaio de detecção do metal pelo algoritmo.

Figura 5. Algoritmo identificando metal

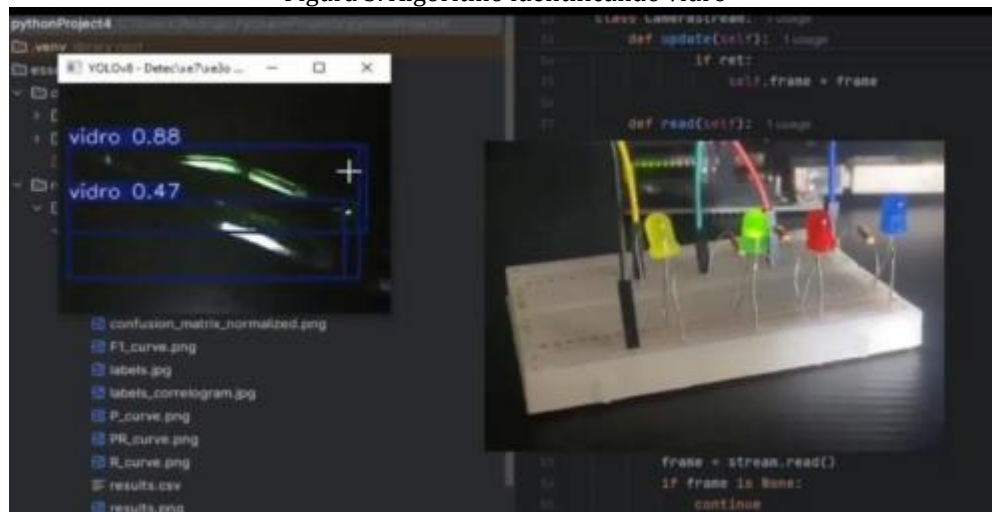


Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Já com relação ao vidro, foram usadas garrafas de tamanhos e cores variadas. O desempenho médio foi inferior ao das demais categorias, com taxa de acerto de 76%. Para objetos de vidro com cores escuras, como garrafas verdes, o algoritmo retorna mais de uma previsão com diferentes níveis de confiança, conforme demonstrado na figura 5. Com a iluminação ambiente, os reflexos na superfície da garrafa contribuíram para que o

modelo identificasse outros resíduos, especialmente papel ou plástico. Apesar da confusão, a taxa de confiabilidade é baixa, não sendo possível fazer o envio do tipo de resíduo para o material. Portanto, 6 dos 30 testes resultaram em classificações incorretas.

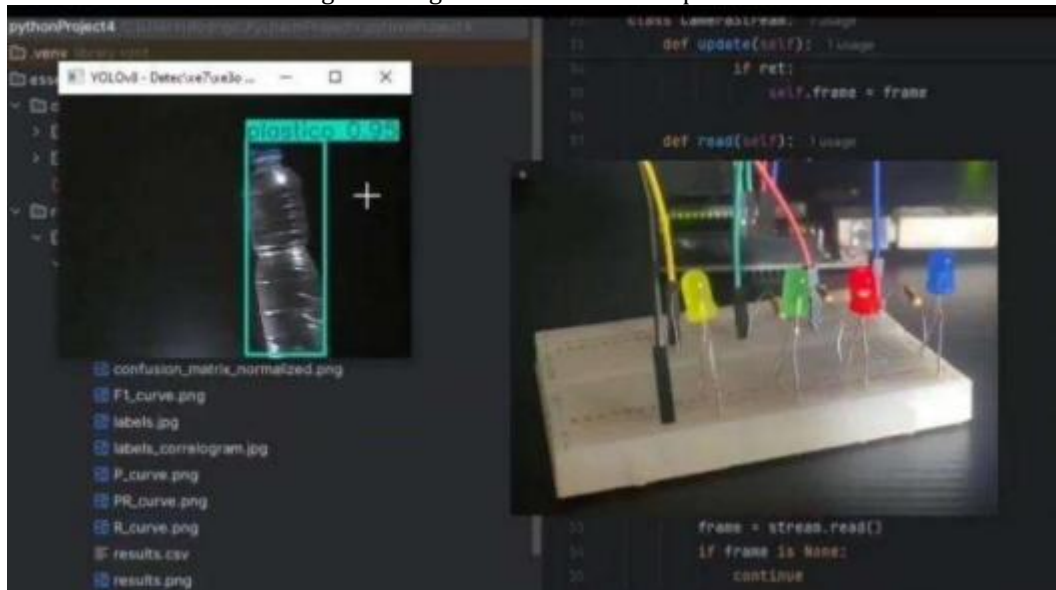
Figura 5. Algoritmo identificando vidro



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Os resíduos plásticos apresentaram uma acurácia de 94%. Foram utilizadas garrafas PET e recipientes de plástico rígido. O algoritmo demonstrou alta robustez na identificação de plásticos, mesmo quando parcialmente amassados. Os objetos foram corretamente identificados, acionando o led em 28 dos 30 testes, conforme ilustrado na figura 6.

Figura 6. Algoritmo identificando plástico



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

Nos testes com papel, foram utilizados papéis amassados e papelão. O desempenho foi de 100% de acerto, com o sistema identificando corretamente todos os 30 resíduos testados. Mesmo com variações na textura, cor e estado de conservação, o modelo foi capaz de classificar corretamente os materiais e acionar o led correspondente de forma consistente. A figura 7 demonstra a taxa de confiabilidade do papel.

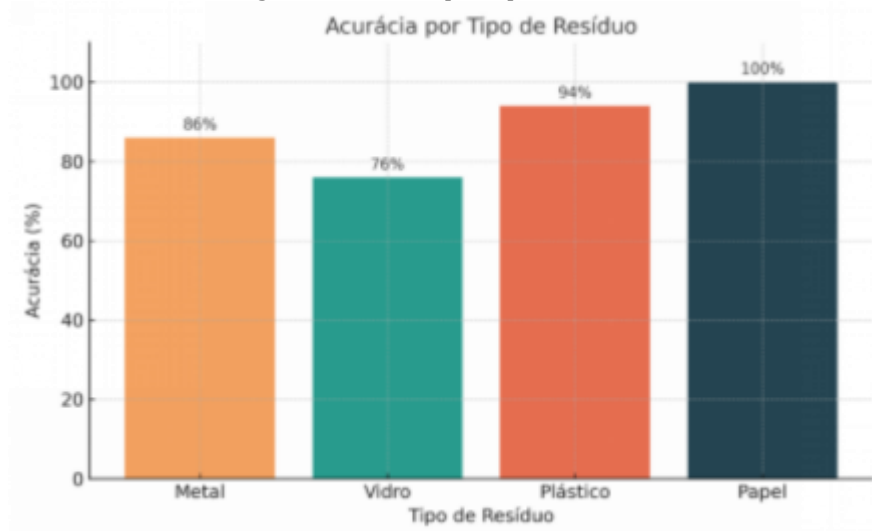
Figura 7. Algoritmo identificando papel



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

A figura 8 resume a acurácia, em forma de gráfico, por tipo de resíduo e os principais erros observados durante os testes.

Figura 8. Acurácia por tipo de Resíduo



Fonte: Elaborado pelos próprios autores

5. CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou a viabilidade de desenvolver uma lixeira inteligente baseada em inteligência artificial, utilizando componentes de baixo custo e com facilidade na integração. A solução proposta constitui uma alternativa eficiente para otimizar a coleta seletiva de resíduos sólidos em ambientes urbanos na identificação dos materiais testados. Esses resultados evidenciam não apenas o desempenho técnico do sistema, mas também sua relevância social, ao viabilizar práticas sustentáveis e fortalecer a educação ambiental.

O sistema também demonstrou bom desempenho na identificação de superfícies metálicas brilhantes e nas formas cilíndricas, mesmo com deformações leves. No entanto, objetos metálicos com sujeira ou ferrugem apresentaram maior dificuldade de reconhecimento, sendo confundidos com papel ou plástico em alguns casos. Essa limitação ocorreu principalmente com latas amassadas ou rasgadas, cuja aparência visual

se distanciava do padrão aprendido durante o treinamento do modelo.

Persistem, contudo, alguns obstáculos a serem superados, como a detecção de resíduos com formatos ou cores atípicas. Ainda assim, os ensaios realizados indicam estratégias promissoras para o aperfeiçoamento do protótipo, incluindo a ampliação da base de dados de imagens, o aprimoramento da arquitetura da rede neural e a otimização dos sistemas de iluminação e dos componentes embarcados.

Ao integrar tecnologia, educação e os princípios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, esta proposta se consolida como uma solução viável para o descarte correto de resíduos, além de estabelecer uma base teórica e prática para aplicações futuras em escolas, espaços públicos, comunidades locais e iniciativas de cidades inteligentes. Os resultados obtidos podem servir de referência para pesquisas interdisciplinares subsequentes, fomentando práticas cada vez mais alinhadas à sustentabilidade e à inovação social. Com tudo, o projeto alcançou seu objetivo ao disponibilizar uma ferramenta de baixo custo para instituições educacionais e organizações comunitárias, apoiando a disseminação de valores socioambientais desde as fases iniciais da formação cidadã e incentivando mudanças de comportamento no cotidiano.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade SENAI Campus Roberto Simonsen pelo suporte técnico e estrutural, e aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ANJOS, J. S. *et al.* Mobilização e implantação da coleta seletiva no município de Guanhões. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 600–628, abr. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/rgsa>. Acesso em: 20 maio 2025.

BRANDT, M. L. C.; RENKEN, A. L. F.; LEITE, M. Lixeira inteligente: desenvolvimento de um dispositivo separador de materiais recicláveis. In: **Anais da XII Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI)**, v. 1, n. 12, 2021.

Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/micti/article/view/1771>.
Acesso em: 20 maio 2025.

BRAVO, T. L. *et al.* Educação ambiental e percepção da implantação de coleta seletiva de lixo urbano em Alegre, ES. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 375–396, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/rgsa>. Acesso em: 20 maio 2025.

CAHYONO, F. Y. A.; SUHARTO, N.; MUSTAFA, L. D. Design and build a home security system based on an ESP32 CAM microcontroller with Telegram notification. **Jartel**, v. 12, n. 2, p. 58–64, jun. 2022. Disponível em: <https://jurnal.polibatam.ac.id>. Acesso em: 05 julho 2025.

CHIUSOLI, C.; DERHON, A. F. Separação de lixo e educação ambiental: opinião da população de uma cidade no Paraná. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 742–762, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/rgsa>. Acesso em: 05 julho 2025.

CHIUSOLI, C. L.; CHEREMETA, A.; VENEROSKI, P. C. Comportamento do cidadão em relação ao consumo consciente e descarte de lixo: um estudo longitudinal. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7705296>. Acesso em: 05 julho 2025.

CRESPO MAZZITELLI, M. M.; GIACOMINI TEIXEIRA, S. Sustentabilidade, governança e segurança ambiental: desafios de uma nova era. **Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal)**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 1–28, 2025. DOI: 10.54751/revistafoco.v18n4-027. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=8019888c-494b-3f5c-b102-a25aa712fd3a>. Acesso em: 26 junho 2025.

FERREIRA, K. G. *et al.* Hortas escolares: práticas de educação ambiental nos reassentamentos urbanos coletivos (RUCs) de Altamira Pará. **Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal)**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 1–14, 2025. DOI: 10.54751/revistafoco.v18n4-055. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=f3125189-6b21-3f94-8af1-fd6e4908b5e6>. Acesso em: 05 julho 2025.

HUANG, K.; LEI, H.; JIAO, Z.; ZHONG, Z. Recycling waste classification using vision transformer on portable device. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11572, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132111572>. Acesso em: 05 julho 2025.

MAIA, M. M. M. *et al.* Relação entre a saúde e segurança do trabalho e sustentabilidade à luz dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): uma análise bibliométrica no período de 2002 a 2022. **Brazilian Journal of Production Engineering / Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 410–425, 2025. DOI: 10.47456/bjpe.v11i1.47138. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=af709aa1-3ff0-3aba-a074-808aef5f79fb>. Acesso em: 26 junho 2025.

MATOS, F. R. N.; CARDOSO, I. M. “Não existe planeta B”: política pública sobre descarte de e-lixo no Brasil. **Gestão e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 217–234, 2024. DOI: 10.25112/rgd.v21i1.3261. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=d436d6ea-fd0d-3e73-a1a1-2065f92152f4>. Acesso em: 02 julho 2025.

NETTO, M. M.; GUIMARÃES, V. A.; LEAL JUNIOR, I. C. Coleta seletiva de lixo reciclável em Angra dos Reis/RJ: análise da evolução municipal e da participação popular. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 2, p. 164–181, 2017. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/geas>. Acesso em: 05 julho 2025.

NOWROZ, S. T. *et al.* A benchmark reference for ESP32-CAM module. 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/392314002_A_Benchmark_Reference_for_ESP32-CAM_Module. Acesso em: 05 julho 2025.

OLIVEIRA, P. C. S. *et al.* Sustentabilidade na educação: impactos e desafios. **Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal)**, [S. l.], v. 18, n. 4, p. 1–11, 2025. DOI: 10.54751/revistafoco.v18n4-090. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=adc46983-7547-3003-ab91-a0a5e53d1d77>. Acesso em: 26 junho 2025.

SAMUEL, K.; AMIR, H.; HANIKA, P.; APRILIAN, A. V. Smart safe using face detection method ESP32 CAM. **Engineering and Technology Journal**, v. 8, n. 12, p. 3212–3219, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10435679>. Acesso em: 05 julho 2025.

SOUZA, P. K. C. *et al.* Controvérsia acadêmica: uma proposta cooperativa para a educação ambiental. In: **Anais do II Congresso Amazonense de Educação**, p. 1–8, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7697441>. Acesso em: 05 julho 2025.

YEO, C. A. E.; ALIAS, H.; MORTHUI, R. Development of automated recycle bin for domestic use using Arduino Uno. **Borneo Engineering & Advanced Multidisciplinary International Journal**, v. 2, n. 1, p. 47–51, 2023. Disponível em: <https://beam.pmu.edu.my/index.php/beam/article/view/71>. Acesso em: 05 julho 2025.