



Escola Técnica Estadual Deputado Ary de Camargo Pedroso
Técnico em Automação Industrial

Robô Autônomo com Visão Computacional para Separação de Materiais Recicláveis

Alyce Teixeira dos Santos

Davi Miguel Machado

João Paulo Ferreira Gabi

Miguel Puppim Ferreira

Thiago Coelho Zério

Orientador: Professor Me Silvio Nunes dos Santos

Piracicaba

2024



DEDICATÓRIA

Dedicamos esse trabalho de forma especial, ao nosso orientador, Professor Me Silvio Nunes dos Santos, por sua dedicação, sabedoria, paciência e ensino dado aos alunos ao longo do processo. Sua orientação e apoio foram fundamentais para o término e concretização desse trabalho.

E também agradecemos ao apoio dado pela família de cada membro do grupo que contribuiu e forneceu suporte e motivação para realizarmos nossos objetivos acadêmicos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão a todos que nos apoiaram e contribuíram de forma positiva para a realização deste trabalho.

Agradecemos primeiramente aos nossos pais e familiares pelo incentivo e apoio ao longo de nossa trajetória acadêmica.

Aos nossos professores, em especial ao Professor Me Silvio Nunes dos Santos, nosso orientador, e ao Senhor e professor Adilson Rodrigues, pela paciência, orientação e pelos ensinamentos valiosos que foram fundamentais ao desenvolvimento deste projeto. Sua dedicação e conhecimento nos guiaram em cada etapa do trabalho.

Por fim, agradecemos a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse realizado, de forma direta ou indireta. Sem o apoio e colaboração de todos, este trabalho não teria alcançado o objetivo e sucesso desejado pelo grupo.

EPÍGRAFE

“Ignore as pessoas que dizem que você não é capaz,
pois, elas não conhecem a tua força,
jamais desista dos seus sonhos
e no momento certo você irá colher os frutos da sua persistência.”

Enéas de Leão Pondé Neto

RESUMO

A gestão de resíduos sólidos é um dos maiores desafios da sociedade moderna, devido ao aumento da geração de lixo e seus impactos ambientais. A onda robótica como uma alternativa promissora para abordar esse problema de forma sustentável. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um robô coletor de lixo reciclável, que não apenas otimiza a separação e coleta de resíduos, mas também atua como ferramenta educativa para promover a conscientização ambiental. O robô utiliza tecnologias como o ESP32-CAM e o ESP32, integrando visão computacional e controle robótico. O ESP32-CAM, equipado com uma câmera, identifica materiais recicláveis, enquanto o ESP32 controla o braço robótico responsável pela coleta. Por meio de algoritmos de Machine Learning, o sistema classifica materiais e envia comandos ao braço robótico, garantindo precisão e eficiência em tempo real. Além de sua funcionalidade técnica, o robô desempenha um importante papel educacional. Os estudantes envolvidos em sua construção e operação desenvolvem habilidades práticas e teóricas, conectando conceitos de robótica e sustentabilidade. A robótica educacional promove o aprendizado empírico, estimula o pensamento crítico e desperta a curiosidade científica, formando uma geração mais consciente e engajada com questões ambientais. Testes com o protótipo demonstram sua eficácia em diferentes cenários, identificando e separando resíduos como plásticos, papel e metal com alta precisão. O impacto do projeto na comunidade foi igualmente positivo, incentivando práticas mais responsáveis de reciclagem e descartes adequados, além de aumentar a conscientização ambiental entre os participantes. O projeto ressalta a importância de integrar sustentabilidade à tecnologia. A gestão eficiente de resíduos contribui para a redução de impactos ambientais e apoia metas globais, como os objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O robô coletor combina inovação tecnológica com responsabilidade ambiental, destacando-se como uma solução prática e educativa.

Palavras-Chave: Robô Coletor. Machine Learning. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

ABSTRACT

The management of solid waste is one of the greatest challenges of modern society due to the increasing generation of waste and its environmental impacts. Robotics emerges as a promising alternative to address this issue sustainably. This study presents the development of a recyclable waste-collecting robot, which not only optimizes the sorting and collection of waste but also serves as an educational tool to promote environmental awareness. The robot uses technologies such as the ESP32-CAM and ESP32, integrating computer vision and robotic control. The ESP32-CAM, equipped with a camera, identifies recyclable materials, while the ESP32 controls a robotic arm responsible for collection. Using Machine Learning algorithms, the system classifies materials and sends commands to the robotic arm, ensuring real-time precision and efficiency. In addition to its technical functionality, the robot plays an important educational role. Students involved in its construction and operation develop practical and theoretical skills, connecting concepts of robotics and sustainability. Educational robotics promotes experiential learning, stimulates critical thinking, and inspires scientific curiosity, shaping a generation that is more conscious and engaged with environmental issues. Tests conducted with the prototype demonstrated its effectiveness in various scenarios, identifying and separating waste such as plastic, paper, and metal with high accuracy. The project's impact on the community was equally positive, encouraging more responsible recycling practices and proper waste disposal, while also raising environmental awareness among participants. The project highlights the importance of integrating sustainability with technology. Efficient waste management reduces environmental impacts and supports global goals such as the Sustainable Development Goals (SDGs). The waste-collecting robot combines technological innovation with environmental responsibility, standing out as both a practical and educational solution.

Key-Words: Collection Robot, Machine Learning, Sustainable Development Goals (SDGs).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Layout da infraestrutura de teste do robô coletor de lixo reciclável.....	24
--	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.2 Justificativa.....	10
1.3 Objetivo geral.....	10
1.4 Objetivo específico.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Machine Learning – Aprendizado de máquina.....	12
2.2 ESP32-CAM.....	14
2.3 Braço Robótico.....	16
2.4 Integração entre Visão Computacional e Controle Robótico: Comunicação entre ESP32-CAM e ESP32.....	19
2.5 Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos.....	21
3. METODOLOGIA.....	23
4. RESULTADOS.....	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos é uma questão difícil e premente no cenário em que vivemos, principalmente se considerar o aumento expressivo da produção de lixo gerados pelos humanos no século XIX, quando a revolução industrial insistiu em um novo patamar da tecnologia no mundo em que habitamos. (USP, 2017).

O trabalho que está sendo realizado propõe o desenvolvimento de um robô coletor de lixo reciclável, que além de otimizar a eficiência na separação e coleta de resíduos, mas também visando atuar como um tipo de ferramenta educacional, visando promover e conscientizar sobre a importância da reciclagem e descarte correto. A robótica, quando aplicada de forma educacional, pode desempenhar um papel crucial para formar uma nova geração mais consciente e engajada nas questões ambientais. (Olhar Digital, 2024).

A relevância deste projeto se alinha com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS), especialmente a ODS 12, que busca enfatizar e assegurar padrões sustentáveis de consumo e produção, e o ODS 6, que revela a importância da água potável e do saneamento. A gestão adequada dos resíduos sólidos é fundamental para evitar impactos ambientais negativos que possam nos causar o pior no futuro, assim promovendo um desenvolvimento sustentável. Além disso, inovações são essenciais para enfrentar os desafios impostos pela crescente geração de resíduos de lixo. (Convale, 2024).

O robô que foi criado, tem como componentes um ESP32 e 4 servos motores, a tecnologia usada no ESP32 é a Machine Learning, que através da câmera detecta os materiais, o ESP32CAM após detectar simultaneamente o material envia um sinal, chamado bite, ao ESP32 que comanda a movimentação desejada dos servos, que fazem a garra segurar o material desejado. Essa tecnologia não apenas melhora a eficiência da coleta de resíduos, mas também serve como recurso de educação que pode estimular o raciocínio lógico e a curiosidade entre os estudantes envolvidos no projeto.

Unindo a tecnologia e a sustentabilidade, este trabalho pretende contribuir de maneira significativa para transformar as cidades em ambientes mais limpos e sustentáveis (DroneBotWorkShop, 2020).

1.2 Justificativa

Este projeto busca unir tecnologia e sustentabilidade por meio do desenvolvimento de um robô coletor de lixo reciclável, que não apenas atenderá às necessidades práticas de coleta, mas também contribuirá para a conscientização e educação ambiental da população. Ao promover a reciclagem e o descarte correto de resíduos, o robô poderá desempenhar um papel significativo na transformação de lugares mais limpos e fazendo as pessoas não entrarem em contato com o material que será reciclado. A expectativa é que, ao final do projeto, o robô não só atenda às demandas de coleta, mas também inspire inovações futuras na área de sustentabilidade e tecnologia, demonstrando que a robótica pode ser uma aliada poderosa na luta contra a poluição e o desperdício, e se mostrando aliada da sustentabilidade e conscientização ambiental

1.3 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um robô coletor de lixo reciclável que melhore a eficiência da coleta seletiva e atual como ferramenta educacional para promover a conscientização ambiental no ambiente escolar e a promover a sustentabilidade na sociedade.

O robô foi projetado para operar em ambientes urbanos e suburbanos, utilizando sensores avançados para detectar tipos de materiais recicláveis, como plásticos e papéis. É controlado por um ESP32CAM e por um ESP32 que integra os componentes eletrônicos.

A interatividade proporcionada pela robótica educacional conectará teoria e prática, contribuindo para um aprendizado empírico sobre sustentabilidade.

Espera-se que, ao final do projeto, o robô coletor de lixo reciclável não apenas atenda às demandas de coleta, mas também inspire inovações futuras

na área de sustentabilidade e tecnologia, demonstrando que a robótica pode ser uma aliada poderosa na luta contra a poluição e o desperdício.

1.4 Objetivo específico

O objetivo direto do projeto é criar um robô coletor de lixo reciclável que melhore significativamente a eficiência e a eficácia na coleta de resíduos recicláveis em ambientes urbanos e suburbanos. Para alcançar esse objetivo, o robô será projetado para realizar as seguintes funções principais:

1. Desenvolver um protótipo funcional de robô coletor de lixo reciclável : Projetar e construir um robô equipado com ESP32CAM, ESP32 e servo motores, que utiliza Machine Learning para identificar e coletar materiais recicláveis em ambientes urbanos e suburbanos.
2. Implementar um sistema de sensoriamento eficiente : Integrar sensores que permitam ao robô detectar diferentes tipos de resíduos, como plásticos, metais e vidros, garantindo a eficácia na separação dos materiais durante uma coleta.
3. Avaliar a eficiência do robô na coleta de lixo : Realizar testes práticos para medir a eficácia do robô na coleta de lixo reciclável, analisando o desempenho em diferentes cenários urbanos e suburbanos.

Este trabalho pretende, portanto, unir tecnologia e sustentabilidade, demonstrando como a robótica pode ser uma aliada importante na gestão de resíduos e na promoção da conscientização ambiental. Ao final, espera-se que o robô não apenas melhore a eficiência na coleta de lixo reciclável, mas também inspire futuras inovações e contribua para a formação de uma geração mais consciente e engajada com questões ambientais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção são apresentados os conhecimentos e temas usados para realização deste trabalho.

2.1 Machine Learning – Aprendizado de máquina

O uso de técnicas de **Machine Learning (ML)** tem crescido de forma exponencial no campo da automação, permitindo avanços aprimorados na eficiência, na precisão e na tomada de decisão em sistemas industriais e cotidianos. Essa tecnologia, baseada na capacidade de sistemas computacionais aprenderem e melhorarem seu desempenho a partir de dados, sem a necessidade de programação explícita para cada tarefa, oferece possibilidades quase ilimitadas para resolver problemas complexos. Em ambientes automatizados, a integração de algoritmos de ML pode ser aplicada em tarefas como controle preditivo, detecção de anomalias e otimização de processos.

Na automação industrial, um dos principais usos do ML é a manutenção preditiva. Ao utilizar sensores conectados a máquinas e equipamentos, é possível coletar dados em tempo real sobre temperatura, vibração, pressão e outras variáveis críticas. Esses dados, quando desenvolvidos por algoritmos de aprendizado supervisionados ou não supervisionados, permitem prever falhas antes que elas ocorram, minimizando paradas não planejadas e otimizando o ciclo de vida dos ativos. Essa abordagem se torna essencial em plantas industriais onde o tempo de inatividade representa perdas financeiras significativas.

Outra aplicação importante é a otimização de processos produtivos por meio de redes neurais artificiais. Esses modelos são treinados para identificar padrões em grandes volumes de dados provenientes de linhas de produção. Com isso, nos tornamos capazes de ajustar variações operacionais, como velocidade de máquinas, consumo de energia e uso de materiais, para alcançar maior eficiência. Além disso, algoritmos de ML podem ser combinados com técnicas de controle avançadas, criando sistemas independentes capazes de tomar decisões em tempo real com base em condições dinâmicas.

A segurança também é um campo onde o ML tem se destacado. Em ambientes automatizados, a análise de imagens e vídeos, utilizando algoritmos de visão computacional, permite monitorar áreas críticas e identificar situações de risco, como a presença de pessoas em zonas restritas ou o mau funcionamento de equipamentos. Os sistemas de segurança baseados no ML podem ser treinados para garantir padrões normais de operação e alertar operadores em caso de desvios inesperados, aumentando a proteção dos trabalhadores e reduzindo a probabilidade de acidentes.

Em logística e cadeia de suprimentos, a automação com ML permite otimizar rotas de transporte, prever demandas e gerenciar estoques de forma mais eficiente. Por meio de modelos preditivos, é possível ajustar as operações de acordo com as tendências do mercado e comportamentos dos consumidores, garantindo maior agilidade e redução de custos. Além disso, o uso de veículos independentes, que dependem de algoritmos de aprendizado profundo, está revolucionando o transporte de materiais em armazéns e centros de distribuição.

No contexto urbano, o aprendizado de máquina em sistemas automatizados de controle de tráfego tem demonstrado sua eficácia. Sensores instalados em semáforos, combinados com câmeras de monitoramento, permitem que algoritmos ajustem os tempos de abertura e fechamento de sinais com base no fluxo de veículos em tempo real. Isso não apenas melhora a mobilidade urbana, mas também contribui para a redução de emissões de gases poluentes, otimizando a sustentabilidade.

Embora as vantagens do ML sejam notáveis, a implementação dessa tecnologia em sistemas de automação enfrenta desafios. Um deles é a necessidade de grandes volumes de dados de alta qualidade para treinar os modelos. Outra é a complexidade da integração de algoritmos com sistemas legados, que muitas vezes não foram específicas para suportar tecnologias modernas. Além disso, a segurança cibernética é uma preocupação crescente, já que sistemas baseados em ML podem ser vulneráveis a ataques, como manipulação de dados ou invasão de redes.

A ética no uso de ML em automação também merece atenção, especialmente em aplicações que envolvem interação com humanos. As

decisões automatizadas devem ser transparentes e passíveis de explicação, para garantir que erros não prejudiquem usuários ou trabalhadores. A dependência excessiva de sistemas inteligentes, sem supervisão adequada, pode gerar riscos operacionais e comprometer a confiança em ambientes industriais e de serviços.

Apesar dos desafios, as perspectivas para o uso de Machine Learning em automação são promissoras. À medida que os custos de hardware diminuem e as ferramentas de desenvolvimento se tornam mais acessíveis, espera-se que empresas de todos os portes adotem a tecnologia em seus processos. O avanço contínuo de algoritmos, combinado com a expansão da Internet das Coisas (IoT), criará um ecossistema onde máquinas e dispositivos inteligentes colaborarão de forma cada vez mais eficiente.

Em resumo, o Machine Learning já se encontra distribuído como uma tecnologia central para o futuro da automação. Sua capacidade de transformar dados em informações acionáveis tem revolucionado indústrias e ambientes urbanos, proporcionando ganhos significativos em produtividade, segurança e sustentabilidade. No entanto, para maximizar os seus benefícios, é essencial superar os desafios técnicos, éticos e de segurança, promovendo um uso responsável e eficiente dessa ferramenta poderosa.

2.2 ESP32-CAM

O **ESP32-CAM** tem se consolidado como uma ferramenta poderosa e acessível para projetos de automação, devido à sua capacidade de processamento e integração com sensores e atuadores. Essa placa combina as funcionalidades do microcontrolador ESP32 com uma câmera embutida, oferecendo um sistema completo para capturar imagens e vídeos enquanto você estiver conectado a redes Wi-Fi ou Bluetooth. Essa tecnologia compacta possibilita aplicações inovadoras em áreas como segurança, monitoramento, controle de acesso e até mesmo inteligência artificial em dispositivos embarcados.

Uma das aplicações mais comuns do ESP32-CAM é em sistemas de vigilância e monitoramento remoto. Sua capacidade de transmitir imagens ao vivo por meio de redes Wi-Fi permite que os usuários configurem câmeras de segurança inteligentes com custos reduzidos. Além disso, como o suporte a

serviços de nuvem e aplicativos móveis, os dados capturados podem ser armazenados e acessados de qualquer lugar, ampliando a funcionalidade desses sistemas. A possibilidade de adicionar reconhecimento facial ou detecção de movimento torna o ESP32-CAM ainda mais eficiente em aplicações de segurança.

No contexto industrial, o ESP32-CAM se destaca como uma solução prática para inspeção e controle visual de processos. Por exemplo, nas linhas de produção, ele pode ser usado para detectar irregularidades em produtos, identificar padrões visuais e monitorar máquinas em tempo real. A integração com outros sensores e atuadores permite criar sistemas de automação mais completos, onde a câmera atua como um elemento crítico para a coleta de dados visuais, alimentando algoritmos de aprendizado de máquina para decisões automatizadas.

No setor de agricultura de precisão, o ESP32-CAM tem ganhado espaço ao ser utilizado em sistemas de monitoramento ambiental. Ele pode capturar imagens de plantações, identificar corretamente, avaliar a saúde das plantas e até monitorar registros de água. Quando combinado com sensores adicionais, como medidores de umidade do solo e temperatura, o ESP32-CAM se torna uma ferramenta poderosa para otimizar recursos e aumentar a produtividade agrícola, contribuindo para práticas mais sustentáveis.

Outro uso relevante é no controle de acesso e automação residencial. Com a capacidade de realizar reconhecimento facial, o ESP32-CAM pode ser configurado para destravar portas automaticamente ou acionar sistemas específicos com base na identificação de pessoas. Isso proporciona maior segurança e conveniência, especialmente em residências inteligentes. Além disso, sua integração com assistentes virtuais, como Alexa ou Google Assistant, amplia a interação com outros dispositivos IoT, tornando a automação residencial mais eficiente.

Do ponto de vista técnico, o ESP32-CAM apresenta desafios que precisam ser considerados durante sua implementação. A placa possui um consumo de energia elevado durante a transmissão de imagens, o que exige planejamento cuidadoso em projetos alimentados por baterias. Além disso, sua capacidade de processamento pode ser limitada para aplicações que exigem análises visuais

complexas, exigindo o uso de servidores externos ou técnicas de otimização para lidar com grandes volumes de dados.

A configuração e programação do ESP32-CAM também requerem atenção especial. Embora seja uma placa de suporte para ambientes de desenvolvimento amplamente utilizados, como o Arduino IDE, sua configuração inicial pode ser solicitada para iniciantes. A necessidade de usar um adaptador FTDI para gravação de código e os ajustes específicos para calibrar a câmera exige conhecimento técnico com antecedência. Apesar disso, uma ampla comunidade de desenvolvedores oferece suporte e recursos, facilitando a resolução de problemas.

Além dos desafios técnicos, há também questões relacionadas à privacidade e segurança dos dados. Como o ESP32-CAM opera frequentemente em redes sem fio, garantir a proteção contra acessos não autorizados e ataques cibernéticos é essencial. A implementação de protocolos seguros, como SSL/TLS, e práticas recomendadas de autenticação pode mitigar esses riscos e garantir a integridade dos sistemas automatizados.

Apesar dessas limitações, as vantagens do ESP32-CAM superam amplamente os desafios. Sua relação custo-benefício, aliada à fibra em aplicações práticas, faz dele uma escolha atraente para desenvolvedores e engenheiros em projetos de automação. A possibilidade de integrar o ESP32-CAM com tecnologias emergentes, como inteligência artificial embarcada e a Internet das Coisas (IoT), amplia ainda mais o potencial dessa ferramenta.

2.3 Braço Robótico

Os braços robóticos desempenham um papel central no avanço da automação, sendo amplamente utilizados em indústrias, centros de pesquisa e até em projetos educacionais. Esses dispositivos, inspirados na anatomia humana, são compostos por múltiplas juntas articuladas e atuadores que permitem movimentos precisos em diversos eixos. Suas orientações e soluções tornam-nos indispensáveis para tarefas repetitivas, complexas ou potencialmente perigosas, melhorando ou complementando o trabalho humano em diversas aplicações.

Na indústria, os braços robóticos são amplamente utilizados em linhas de montagem, onde executam atividades como aplicação, pintura, manipulação de materiais e montagem de componentes. Sua capacidade de trabalhar continuamente, sem interrupções ou variações, garante um alto padrão de qualidade e eficiência no processo produtivo. Além disso, os braços robóticos podem operar em ambientes adversos, como altas temperaturas ou atmosferas tóxicas, protegendo a saúde e a segurança dos trabalhadores.

Uma das principais vantagens dos braços robóticos é sua integração com sistemas de visão computacional e inteligência artificial. Essa combinação permite que os robôs identifiquem objetos, se adaptem a diferentes situações e tomem decisões em tempo real. Por exemplo, em um ambiente logístico, um braço robótico equipado com visão computacional pode considerar e classificar pacotes com base em seu tamanho, formato ou etiqueta, otimizando o fluxo de trabalho.

Além das aplicações industriais, os braços robóticos ganham espaço na área médica, onde são utilizados em cirurgias minimamente invasivas, próteses controladas por sinais técnicos e reabilitação física. Sua precisão milimétrica e capacidade de execução de movimentos complexos tornam ideais para procedimentos delicados, reduzindo os riscos e melhorando os resultados para os pacientes. Esse avanço reflete o potencial dos braços robóticos em transformar a medicina e melhorar a qualidade de vida.

No contexto educacional, os braços robóticos são ferramentas poderosas para o ensino de programação, controle e automação. Eles permitem que os estudantes desenvolvam habilidades práticas em áreas como cinemática, dinâmica e controle de movimento, proporcionando uma compreensão mais profunda de conceitos teóricos. Projetos educacionais que envolvem a construção e a programação de braços robóticos também fomentam a criatividade e o pensamento crítico, preparando os alunos para os desafios do mercado de trabalho.

Apesar de suas vantagens, a implementação de braços robóticos apresenta desafios significativos. O alto custo inicial de aquisição e manutenção pode ser um obstáculo para pequenas e médias empresas, limitando sua adoção. Além disso, a programação e o controle desses dispositivos requerem

conhecimentos técnicos especializados, o que demanda investimentos em treinamento e qualificação da força de trabalho.

Outro desafio importante é a segurança no ambiente de trabalho. Embora os braços robóticos possam operar com precisão, falhas mecânicas ou erros de programação podem resultar em acidentes graves. Por isso, a adoção de medidas de segurança, como sensores de proximidade, barreiras físicas e algoritmos de detecção de falhas, é essencial para minimizar os riscos e garantir uma operação segura.

Com o avanço das tecnologias de automação, os braços robóticos estão se tornando cada vez mais acessíveis e sofisticados. A integração com sistemas de Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem permite monitoramento remoto, manutenção preditiva e atualizações em tempo real, ampliando suas funcionalidades e eficiência. Além disso, o desenvolvimento de materiais leves e resistentes contribui para a criação de robôs mais ágeis e econômicos.

As perspectivas futuras para os braços robóticos são promissoras, com aplicações emergentes em setores como agricultura, exploração espacial e robótica de serviço. Em ambientes agrícolas, por exemplo, braços robóticos podem ser usados para colher frutas delicadas sem danificá-las, enquanto em missões espaciais, eles são fundamentais para realizar reparos em satélites e sondas. Já na robótica de serviço, sua aplicação vai desde a assistência a pessoas com mobilidade reduzida até a manipulação de objetos em ambientes domésticos.

2.4 Integração entre Visão Computacional e Controle Robótico: Comunicação entre ESP32-CAM e ESP32

A comunicação entre um **ESP32-CAM**, responsável pela visão computacional, e um **ESP32** que controla um braço robótico envolve o estabelecimento de uma interface robusta para troca de dados, utilizando protocolos como **Wi-Fi**, **Bluetooth** ou **Serial UART**. Essa configuração permite que o ESP32-CAM processe imagens capturadas pela câmera, identifique objetos ou padrões e envie comandos ou informações relevantes ao ESP32, que realizam o controle de movimento do braço robótico com base nas instruções recebidas.

Para que essa interação ocorra, o ESP32-CAM deve ser programado para realizar o pré-processamento das imagens capturadas. Isso pode incluir a detecção de objetos por meio de algoritmos como Haar Cascades ou YOLO (You Only Look Once), bem como a identificação de características específicas, como cor, forma ou posição no espaço. Esses dados são então convertidos em informações utilizáveis, como coordenadas ou instruções categóricas, que são enviadas ao ESP32. Por exemplo, após identificar a posição de um objeto, o ESP32-CAM pode transmitir as coordenadas X e Y por um protocolo escolhido.

O ESP32-CAM utiliza sua conectividade Wi-Fi para operar como servidor ou cliente. No modo servidor, ele hospeda um endpoint HTTP ou WebSocket para enviar dados ao ESP32, que atua como cliente, acessando periodicamente o servidor para obter atualizações. Nesse caso, a interface do ESP32-CAM pode ser um código com uma estrutura RESTful, onde as requisições HTTP retornam informações como a posição do objeto detectado no formato JSON. Alternativamente, se a comunicação for realizada por Bluetooth, o ESP32-CAM envia pacotes compactos diretamente ao ESP32, minimizando latência e consumo energético.

Do lado do ESP32 que controla o braço robótico, o microcontrolador recebe os dados enviados pelo ESP32-CAM e os interpreta em comandos que definem o movimento do braço. Por exemplo, se o ESP32-CAM envia coordenadas de um objeto, o ESP32 pode calcular os ângulos necessários das

juntas do braço robótico para alcançar o ponto identificado, utilizando equações de cinemática inversa. Essas instruções são então enviadas aos motores servos ou atuadores que compõem o braço, ajustando suas posições para realizar a tarefa desejada, como agarrar o objeto ou movê-lo para outro local.

A interface do ESP32-CAM deve incluir uma biblioteca que facilite a captura e o processamento de imagens. A câmera integrada pode ser configurada para capturar frames em intervalos regulares e analisar cada frame para extrair informações úteis. Por exemplo, um código típico poderia usar a biblioteca OpenCV (adaptada para o ambiente do ESP32-CAM) para realizar a detecção de bordas ou rastreamento de núcleos, enquanto as bibliotecas nativas, como ESP32Camera, cuidam do controle da câmera.

No ESP32 que controla o braço robótico, a lógica se concentra em interpretar os dados recebidos e traduzi-los em movimentos precisos. Isso requer não apenas um entendimento das coordenadas ou comandos enviados pelo ESP32-CAM, mas também um sistema de feedback que permite ao braço ajustar sua posição com base em sensores ou dados retornados. Por exemplo, o ESP32 pode verificar se os motores alcançaram as posições desejadas e solicitar novas informações ao ESP32-CAM para refinar sua operação.

Uma aplicação prática dessa configuração poderia ser a separação de objetos com base em núcleos. O ESP32-CAM detecta objetos vermelhos e envia suas coordenadas ao ESP32. Este, por sua vez, move o braço robótico até a posição correspondente, agarra o objeto e o coloca em um designado local. Para implementar isso, a lógica do ESP32-CAM pode incluir um algoritmo de detecção de núcleos por meio de limiares HSV, enquanto o ESP32 utiliza cinemática inversa para calcular as posições do braço.

O principal desafio dessa comunicação reside na sincronização entre os dispositivos. Uma abordagem robusta deve incluir verificações de integridade dos dados, como CRC (Cyclic Redundancy Check), para garantir que as informações transmitidas entre o ESP32-CAM e o ESP32 sejam precisas. Além disso, o uso de buffers para armazenar temporariamente comandos ou dados pode ajudar a gerenciar variações na taxa de envio e recepção entre os dispositivos.

Em resumo, o ESP32-CAM atua como os "olhos" do sistema, utilizando visão computacional para identificar e enviar informações ao ESP32, que funciona

como o “cérebro” do braço robótico, controlando seus movimentos com base nas instruções recebidas. Essa arquitetura modular combina a capacidade de captura e processamento de imagens do ESP32-CAM com o controle eficiente do ESP32, criando um sistema integrado e inteligente para automação.

2.5 Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos

A **gestão sustentável de resíduos sólidos** é um dos principais desafios enfrentados pelas sociedades modernas devido ao aumento exponencial na geração de resíduos e à crescente preocupação com os impactos ambientais, sociais e econômicos associados. Essa abordagem vai além do simples descarte, buscando estratégias que minimizem a geração de resíduos, promovam a reutilização e reciclagem, e garantam a destinação adequada dos materiais que não podem ser reaproveitados. É uma prática essencial para mitigar os efeitos da poluição, conservar recursos naturais e fomentar um desenvolvimento mais sustentável.

Uma das etapas mais importantes da gestão sustentável de resíduos sólidos é a **redução na fonte**, que consiste em minimizar a geração de resíduos antes mesmo de seu descarte. Isso pode ser alcançado por meio de mudanças nos processos produtivos, substituição de materiais por alternativas mais sustentáveis e incentivo a padrões de consumo consciente. As empresas, por exemplo, podem adotar práticas de produção mais limpas, enquanto os consumidores podem ser educados sobre a importância de evitar o desperdício e preferir produtos com menor impacto ambiental.

A **coleta seletiva** e a **reciclagem** são pilares fundamentais desse modelo de gestão. Separar os resíduos em categorias como papel, plástico, vidro e metal permite que esses materiais sejam destinados para processos de reciclagem, evitando a necessidade de reciclagem de recursos naturais. Além disso, o reaproveitamento de resíduos orgânicos por meio de compostagem é uma solução eficaz para transformar restos de alimentos e alimentos em adubo, fechando o ciclo de nutrientes e transmitindo a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários.

Os aterros sanitários continuam sendo uma realidade para muitos resíduos que não podem ser reciclados ou reaproveitados, mas sua gestão precisa ser

otimizada para minimizar os impactos ambientais. Tecnologias como a captura de gases de efeito estufa gerados pela eliminação do lixo orgânico podem ser inovadoras, modificando esses gases em energia. Paralelamente, a fiscalização e modernização de aterros garante que esses espaços sejam usados de forma controlada, evitando a contaminação do solo e dos recursos hídricos.

O envolvimento das comunidades é um aspecto central na gestão sustentável de resíduos sólidos. Programas de educação ambiental que incentivam a segregação correta de resíduos, reduzem o consumo excessivo e promovem a reutilização de materiais são essenciais para o sucesso das iniciativas. Esse envolvimento é especialmente importante em cidades e comunidades que dependem da coleta informal de resíduos, muitas vezes realizada por catadores, que desempenham um papel crucial na reciclagem, mas que precisa de apoio e integração em políticas públicas.

Além do aspecto ambiental, a gestão sustentável de resíduos sólidos tem um impacto econômico significativo. O desenvolvimento de cadeias produtivas baseadas na reciclagem e na reutilização gera empregos e fomenta a economia circular, em que os resíduos são tratados como recursos em vez de descartados como lixo. Esse modelo incentiva a inovação, pois as empresas buscam criar produtos mais resistentes, recicláveis e com menor impacto ambiental.

A gestão sustentável de resíduos sólidos requer um comprometimento coletivo, envolvendo governos, empresas e cidadãos. Políticas públicas como a implementação da logística reversa, que responsabilizam os fabricantes pelo destino final de seus produtos, e a ampliação de incentivos fiscais para negócios sustentáveis são passos importantes nessa direção. Ao mesmo tempo, o desenvolvimento de tecnologias para reaproveitamento e tratamento de resíduos precisa ser incentivado, criando soluções mais eficazes e acessíveis. Apenas com essa união de esforços será possível alcançar uma gestão eficiente, que promova o equilíbrio entre as necessidades humanas e a preservação do meio ambiente para as futuras gerações.

3. METODOLOGIA

Esta seção descreve como foi desenvolvido o projeto, a infraestrutura e as aplicações.

Como alicerce para este trabalho se utilizou uma ideia lastreada em dois vídeos sobre a tecnologia aplicada e como realizar o desenvolvimento do protótipo a fim de colocar a ideia pensada pelo grupo em prática.

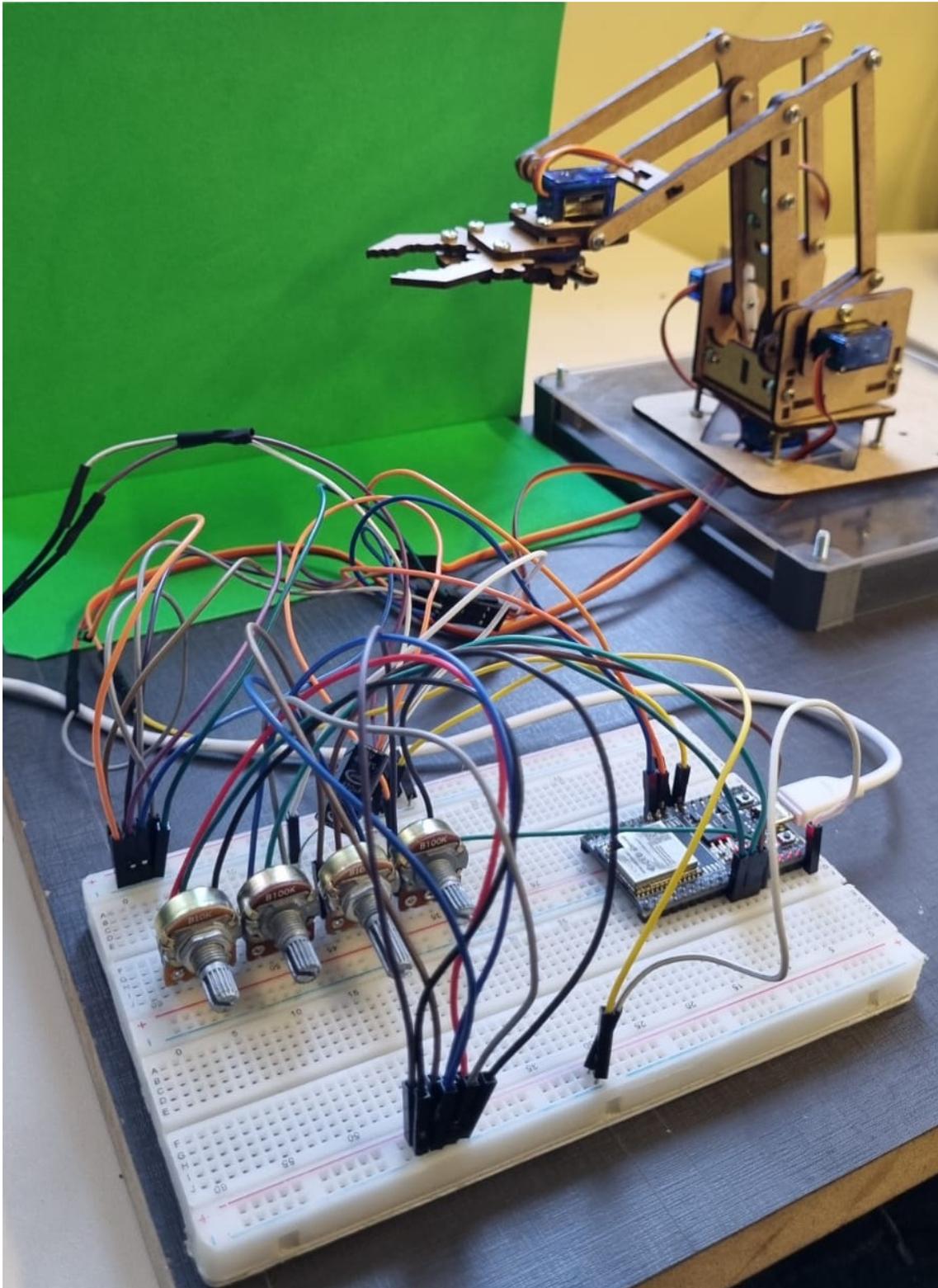
O primeiro vídeo aborda a ferramenta de inteligência artificial, *machine learning*, que usa algoritmos e modelos estáticos para identificar padrões, sendo assim, este tipo de tecnologia permite uma precisão maior no movimento e leitura do processo que a garra terá que realizar.

O segundo vídeo trata sobre Internet das Coisas (IoT), abordando as conexões dos dispositivos e como enviar sinais e informações para os componentes e também na coleta de dados entre componentes, por exemplo, para a garra do braço robótico do projeto entender o que terá que realizar de uma forma mais precisa.

A pesquisa para o desenvolvimento do robô coletor de lixo reciclável iniciou com a identificação dos requisitos essenciais para o projeto. Foram definidos os tipos de resíduos que o robô deveria detectar e coletar, como plásticos, metais e vidros, e foram estabelecidos os critérios necessários para os sensores e componentes eletrônicos. O design do robô foi esboçado, considerando a funcionalidade em diferentes ambientes urbanos e suburbanos.

Em seguida, foi realizada a seleção e aquisição dos componentes eletrônicos, incluindo sensores de proximidade, câmeras, atuadores e o microcontrolador ESP32, fundamental para integrar os sistemas do robô. A construção física do protótipo começou conforme o design planejado, com a montagem dos componentes e a implementação da programação do ESP32 para garantir a coordenação eficiente entre sensores e atuadores. Esta programação permitiu ao robô detectar e coletar materiais recicláveis de maneira eficaz. A Figura 1 mostra o layout da infraestrutura de teste do robô.

Figura 1. Robô Separador e Coletor de Lixo Reciclável.



Fonte: Acervo os Autores deste trabalho.

Com o protótipo montado, foram conduzidos testes para avaliar seu desempenho na coleta de resíduos em diversos ambientes. Esses testes

visavam verificar a eficácia do robô em diferentes condições e identificar possíveis falhas ou áreas de melhoria. Com base nos resultados obtidos, ajustes foram realizados para otimizar a performance do robô.

A pesquisa incluiu a análise dos resultados obtidos com o robô e sua aplicação educacional. Serão avaliados tanto a eficácia do robô na coleta de resíduos quanto o impacto dos materiais educativos na conscientização ambiental.

Essa abordagem metodológica visou garantir que o projeto do robô coletor de lixo reciclável atenda eficazmente aos objetivos práticos e educativos, contribuindo para a melhoria na coleta de resíduos e para o avanço da sustentabilidade.

4. RESULTADOS

O protótipo funcional do robô coletor foi desenvolvido com sucesso, utilizando ESP32CAM e ESP32, além de servos motores. O robô demonstrou capacidade de operar em ambientes urbanos e suburbanos, utilizando sensores avançados para identificar e coletar materiais recicláveis como plásticos, papéis e alumínio. O uso da Machine Learning permitiu que o robô melhorasse sua precisão na identificação dos sólidos recicláveis, aumentando a eficácia da coleta em comparação com métodos tradicionais.

A integração de um sistema de sensoriamento eficiente possibilitou ao robô detectar diferentes tipos de resíduos com alta eficácia. Os testes mostraram que o robô pode classificar materiais recicláveis em tempo real, contribuindo para uma separação mais eficaz durante a coleta. Essa abordagem não apenas aumentou a quantidade de materiais recicláveis recuperados, mas também melhorou a qualidade dos materiais separados.

O projeto incluiu um programa educacional no formato de um evento tecnológico interno para apresentar os projetos aos colegas estudantes de outras áreas da ETEC. Esse evento resultou em um aumento significativo da conscientização sobre a importância da reciclagem e do descarte correto de resíduos entre os participantes. Os feedbacks deste evento indicaram que os colegas estudantes de outros cursos se conscientizaram para uma maior responsabilidade ambiental.

A análise do impacto do projeto revelou uma mudança positiva na percepção da comunidade sobre reciclagem e gestão de resíduos. A implementação do robô coletor contribuiu para um aumento na participação da população em iniciativas de reciclagem e para uma maior disposição em adotar práticas sustentáveis. Os resultados indicam que a presença do robô gerou um efeito educativo na comunidade, incentivando comportamentos mais responsáveis em relação ao descarte correto.

Em conclusão, o projeto não apenas atingiu seus objetivos iniciais de desenvolver um robô coletor eficiente e funcional, mas também se destacou como uma ferramenta educacional poderosa que promoveu a conscientização

ambiental. Espera-se que essa iniciativa inspire futuras inovações tecnológicas na área da sustentabilidade e contribua para a formação de uma geração mais engajada nas questões ambientais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste robô coletor de lixo representa um avanço significativo, pois busca soluções tecnológicas que promovam a sustentabilidade e a conscientização ambiental. O projeto visa melhorar a coleta de resíduos recicláveis em cidades e espaços fechados, ao mesmo tempo em que desempenha um papel relevante na educação ambiental, envolvendo os estudantes em sua construção e operação. Com o uso de componentes como o ESP32-CAM e sensores avançados, o projeto permite a criação de protótipos específicos que, com técnicas de Machine Learning, identificam e classificam materiais recicláveis.

Essa abordagem prática não apenas ensina conceitos de robótica, mas também reforça a importância da reciclagem e do descarte adequado de resíduos. A proposta de interação pela robótica educacional conecta teoria e prática, estimulando o pensamento crítico e a curiosidade científica por meio de aprendizado empírico.

A avaliação da eficiência do robô em diferentes cenários garante que ele atenda às demandas reais de coleta seletiva. Além disso, a análise do impacto do projeto na comunidade contribui para entender como a presença do robô pode influenciar positivamente a percepção pública sobre reciclagem e gestão de resíduos. Espera-se que esta iniciativa não seja apenas melhora a eficiência na coleta, mas também promova mudanças de comportamento em relação ao descarte correto de resíduos, criando uma conscientização mais ampla e rigorosa.

Ao término do projeto, o robô coletor de lixo reciclável demonstrará seu potencial como ferramenta eficaz no combate à poluição e ao desperdício. A expectativa é que este trabalho inspire futuras inovações em sustentabilidade e tecnologia, mostrando como a robótica pode ser uma aliada poderosa na construção de um mundo mais limpo e sustentável. Este trabalho exemplifica como a tecnologia pode resolver problemas práticos enquanto educa e engaja gerações em questões de sustentabilidade. A união entre inovação tecnológica e consciência ambiental é essencial para formar cidadãos mais responsáveis e comprometidos com o futuro do planeta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DroneBot Workshop. **Simple ESP32-CAM Object Detection**. Youtube, 25 de Janeiro de 2023. Disponível em : https://youtu.be/HDRvZ_BYd08?si=HjfacMHEm_aXBsQN. Acesso 28 Ago.2024.

Jornal USP(Universidade de São Paulo). **Lixo industrial gera renda quando manejo é feito de em rede**. 19 de Janeiro de 2017. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-humanas/lixo-industrial-gera-renda-quando-manejo-e-feito-em-rede/>. Acesso em 29 Set.2024.

Convale. **Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos no Brasil**. 25 de Maio de 2024. Disponível em: <https://convale.ce.gov.br/informa/64/gestao-sustentavel-de-residuos-solidos-no-brasil>. Acesso 29 Set.2024.

Olhar Digital. **Robô com IA ajuda na coleta e separação de lixo**. 20 de Fevereiro de 2024. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2024/02/20/ciencia-e-espaco/robo-com-ia-ajuda-na-coleta-e-separacao-de-lixo-conheca/>. Acesso em 29 Set.2024.

Oficina DroneBot WorkShop. **Usando servo motores com ESP32**. 23 de Julho de 2020. Disponível em: <https://dronebotworkshop.com/esp32-servo/>. Acesso em 29 Set.2024

ARTANTO, dian. **How to make a Coin Sorter using ESP32-CAM, Edge Impulse & Adafruit IO?** YouTube, 06 de Julho de 2024. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=mWFalFhrMB0>. Acesso em 16 Set.2024.

Manual do Mundo. **Nosso melhor robô de todos os tempos! #ManualMaker Aula 10, Vídeo 2**. 27 de Abril de 2019. Disponível em: <https://youtu.be/Ecw3kCo4AdQ?si=gUQEUmEmZba8KQZf>. Acesso em 1 Ago.2024.

Guia Robótica. **Tutorial de Braço Robótico com Arduíno [Segredos revelados]**. YouTube, 8 de Junho de 2023. Disponível em: <https://youtu.be/PuAKJ2k7Dhl?si=EuwQf8eQkClzAS7u>. Acesso em 20 set.2024.