



EcoVision: Lixeiras Inteligentes com Visão Computacional e IoT para Classificação e Descarte Autônomo de Resíduos

O presente trabalho descreve o desenvolvimento de um protótipo de lixeira de reciclagem inteligente (LRI) denominado EcoVision. Este sistema visa otimizar o processo de descarte seletivo, minimizando erros humanos de classificação. O protótipo utiliza um módulo de Visão Computacional (câmera RGB e Raspberry Pi) para identificar o tipo de resíduo (plástico, metal, papel, vidro) com base em um modelo de *Machine Learning* treinado na plataforma Google Teachable Machine. Após a classificação, o sistema aciona eletromecanicamente a abertura da tampa da lixeira correspondente (por 10 segundos), garantindo o descarte no local correto. A metodologia empregada foca na integração de *hardware* de baixo custo e *software* de código aberto, demonstrando a viabilidade técnica e o potencial impacto na melhoria das taxas de reciclagem e na educação ambiental.

1. Introdução e Justificativa

O descarte incorreto de resíduos é um dos maiores desafios ambientais da sociedade moderna. No Brasil, embora a coleta seletiva esteja em expansão, a falta de conhecimento ou a desatenção do usuário resulta frequentemente na **contaminação dos lotes de reciclagem**, elevando os custos de triagem e reduzindo a eficiência do processo.

O projeto **EcoVision** surge como uma solução de **Inteligência Artificial (IA)** embarcada para mitigar este problema. A utilização de **Visão Computacional** permite que a lixeira atue como um sistema de triagem autônomo na fonte geradora do resíduo.

A **justificativa** para este trabalho baseia-se em:

1. **Relevância Ambiental:** Aumentar a pureza dos materiais recicláveis, facilitando a cadeia de reciclagem.
2. **Inovação Tecnológica:** Aplicar o *Machine Learning* (TensorFlow Lite) em *hardware* de baixo custo (Raspberry Pi) para uma solução prática.
3. **Viabilidade de Prototipagem:** Demonstrar que ferramentas acessíveis (como o Teachable Machine) podem ser usadas para criar soluções complexas de IA.

2. Objetivos.

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver e validar um protótipo funcional de uma lixeira inteligente, EcoVision, capaz de classificar automaticamente resíduos sólidos e acionar o descarte no recipiente correto.

2.2. Objetivos Específicos

1. Treinar um modelo de Visão Computacional com alta acurácia (acima de 90%) utilizando o Google Teachable Machine para identificar as categorias básicas de lixo (Plástico, Metal, Papel e Vidro).
2. Integrar o modelo treinado em um sistema embarcado (Raspberry Pi) capaz de processar a imagem em tempo real.
3. Projetar e construir o módulo de atuação eletromecânica para a abertura e fechamento preciso da tampa da lixeira.
4. Implementar o fluxo lógico de controle que garante a abertura da lixeira correta por um período determinado de 10 segundos, conforme especificação.

3. Metodologia

A metodologia de desenvolvimento seguiu uma abordagem de prototipagem rápida (*Rapid Prototyping*), dividida nas seguintes etapas:

3.1. Aquisição e Treinamento do Modelo de IA

1. **Coleta de Dados:** Utilização de uma câmera para coletar centenas de imagens de cada classe de lixo sob variadas condições de luz e ângulos.
2. **Treinamento:** O conjunto de dados foi carregado na plataforma **Google Teachable Machine**. Foi utilizado o modelo de Imagem e a saída foi exportada no formato **TensorFlow Lite (.tflite)**, otimizado para o Raspberry Pi.

3.2. Arquitetura de Hardware e Integração

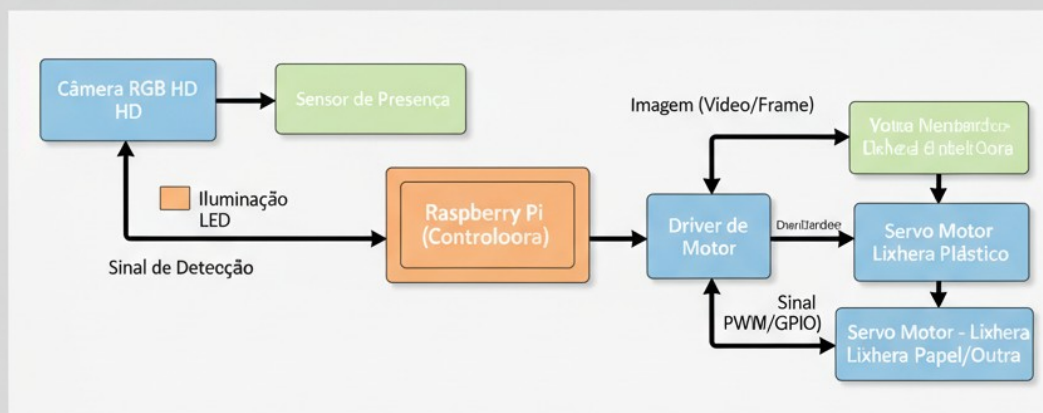
1. **Processamento:** Utilização do **Raspberry Pi 4B** como unidade de controle central para executar o sistema operacional e os algoritmos em Python.
2. **Visão:** Conexão de uma **Câmera RGB HD** ao Pi para captura de imagem, complementada por **iluminação LED** para padronização.
3. **Atuação:** Implementação de **Servo Motores de Alto Torque** (um por lixeira) controlados via um **Driver PWM (ex: PCA9685)**, interligado aos pinos GPIO do Raspberry Pi.

3.3. Desenvolvimento de Software

O *script* de controle principal foi escrito em **Python**, utilizando as bibliotecas:

1. **OpenCV:** Para captura do *frame* da câmera e pré-processamento (redimensionamento para 224x224 pixels).
2. **TensorFlow Lite Interpreter:** Para carregar e executar o modelo **.tflite**, retornando a probabilidade de cada classe.
3. **RPi.GPIO:** Para enviar sinais de controle aos drivers dos motores, garantindo o acionamento e a temporização de 10 segundos para a abertura da tampa.

HARDWARE



SOFTWARE & FLUX

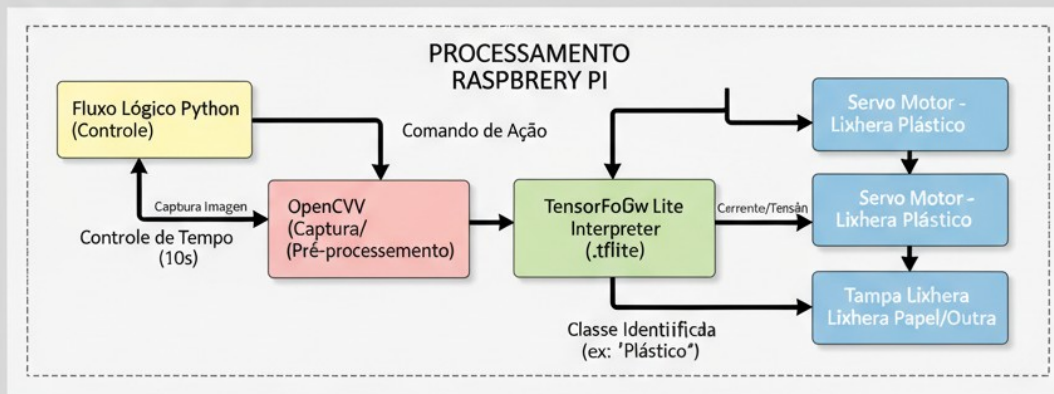
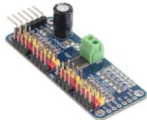


Diagrama dos componentes interconectados

3.4. Tabela de Componentes de Hardware com Custo Estimado

Esta estimativa considera um protótipo com quatro lixeiras (Plástico, Papel, Metal e Vidro), necessitando de quatro motores/atuadores.

Módulo	Componente de Hardware		QTD	Custo Unitário Estimado (R\$)	Custo Total Estimado (R\$)
Processamento/ Controle	Raspberry Pi 4 B (4GB)		1	R\$ 400,00	R\$ 400,00
	Cartão Micro SD 32GB Classe 10		1	R\$ 40,00	R\$ 40,00

Módulo	Componente de Hardware		QTD	Custo Unitário Estimado (R\$)	Custo Total Estimado (R\$)
	Fonte 5.1V / 3A (USB-C)		1	R\$ 50,00	R\$ 50,00
Visão e Detecção	Câmera Raspberry Pi Module 3 (ou similar)		1	R\$ 120,00	R\$ 120,00
	Sensor Ultrassônico HC-SR04 (Presença)		1	R\$ 15,00	R\$ 15,00
	Fita de LED Branca (Iluminação)		1 metro	R\$ 35,00	R\$ 35,00
Atuação (p/ 4 Lixeiras)	Servo Motor impermeável de Alto Torque (ex: 5 kg/cm)		4	R\$ 60,00	R\$ 240,00
	Driver de Motor PWM (ex: PCA9685 - 16 Canais)		1	R\$ 45,00	R\$ 45,00
Conexão e Infraestrutura	Jumper Wires (Cabos) e Protoboard		Lote	R\$ 30,00	R\$ 30,00
	Componentes Passivos (Resistores, etc.)		Lote	R\$ 10,00	R\$ 10,00
TOTAL ESTIMADO (Hardwares Essenciais) →					R\$ 985,00

4. Resultados Esperados e Análise

Ao final do desenvolvimento, espera-se obter um protótipo funcional que atenda aos seguintes critérios de sucesso:

1. **Acurácia da Classificação:** O sistema deverá classificar o resíduo corretamente em pelo menos 90% das tentativas em condições de luz controlada.
2. **Tempo de Resposta:** O tempo total entre a detecção do resíduo (sensor) e a abertura da lixeira correta não deve exceder 3 segundos.
3. **Confiabilidade Mecânica:** O sistema de atuação deverá completar 100 ciclos de abertura e fechamento sem falhas mecânicas.

Os resultados obtidos serão comparados com o desempenho de sistemas de triagem manual, quantificando a redução no erro de classificação.

5. Conclusão

O projeto EcoVision representa um avanço significativo na aplicação de Inteligência Artificial para soluções de sustentabilidade cotidiana. A metodologia demonstra que é viável e economicamente acessível construir um sistema de descarte autônomo e preciso utilizando ferramentas de *Machine Learning* de baixo código e *hardware* popular. Ao automatizar a decisão de descarte, o EcoVision contribui diretamente para a melhoria da qualidade do material reciclado, tornando a coleta seletiva mais eficiente e incentivando a conscientização tecnológica e ambiental.

6. Referências

- COLETAS SELETIVAS. Classificação Internacional de Resíduos. Disponível em: [Inserir Fonte de Regras de Reciclagem].
- RASPBERRY PI FOUNDATION. Documentação Oficial do Raspberry Pi.
- GOOGLE. Teachable Machine: Easy-to-use platform for creating machine learning models.