

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC PROFESSOR APRÍGIO GONZAGA
ENSINO MÉDIO COM HABILITAÇÃO TÉCNICA PROFISSIONAL EM
ELETRÔNICA

Jheniffer Cavalcanti

Maria Eduarda Lobo

Matheus Campos

Vinícius Paes

Vitor Nobre

Wallace Pereira

LIXEIRA INTELIGENTE: Sistema de Coleta e Separação Automatizada de Resíduos
Recicláveis

São Paulo

2025

Jheniffer Cavalcanti

Maria Eduarda Lobo

Matheus Campos

Vinícius Paes

Vitor Nobre

Wallace Pereira

LIXEIRA INTELIGENTE: Sistema de Coleta e Separação Automatizada de Resíduos
Recicláveis

Trabalho de Conclusão de
Curso apresentado ao Curso Técnico
em Eletrônica da ETEC Professor
Aprígio Gonzaga, orientado pelo
Prof. Me. Fernando A. F.
Albuquerque, como requisito parcial
para obtenção do título de técnico em
eletrônica.

São Paulo

2025

Jheniffer Cavalcanti

Maria Eduarda Lobo

Matheus Campos

Vinícius Paes

Vitor Nobre

Wallace Pereira

LIXEIRA INTELIGENTE: Sistema de Coleta e Separação Automatizada de Resíduos
Recicláveis

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Albuquerque

Prof. Joselito Conde

Prof. André Rufino

São Paulo

2025

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em primeiro lugar, ao professor Fernando A. F. Albuquerque, por sua orientação, paciência e disponibilidade durante todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua contribuição foi essencial para que conseguíssemos chegar até aqui.

Estendemos nosso agradecimento a todos os professores que fizeram parte da nossa trajetória na ETEC Professor Aprígio Gonzaga, por compartilharem seus conhecimentos, nos desafiarem a ir além e por todo o apoio durante o curso.

Agradecemos também à equipe da escola, que sempre esteve disponível para ajudar, e ao Centro Paula Souza pela oportunidade de acesso a uma educação pública de qualidade, que fez toda a diferença na nossa formação.

Também agradecemos às nossas famílias, pelo apoio, compreensão e incentivo ao longo de toda a trajetória.

Aos amigos e colegas que nos acompanharam nesse processo, dividindo dúvidas, sugestões e palavras de motivação, nosso sincero obrigado.

Esse trabalho é resultado de muito esforço coletivo, não apenas do nosso grupo, mas também de todos que nos ajudaram direta ou indiretamente, fizeram parte desse caminho.

Dedicamos este trabalho a Deus, por nos conceder sabedoria, força e perseverança. Aos nossos familiares, pelo apoio constante, incentivo e compreensão durante todo o processo. Ao nosso grupo, pela união, esforço coletivo e comprometimento que tornaram possível a realização deste projeto. E ao professor Fernando A. F. Albuquerque, por sua orientação, paciência e dedicação, fundamentais para a construção deste trabalho.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

- Madre Tereza

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma lixeira automatizada capaz de identificar e separar resíduos recicláveis de forma prática e eficiente. A ideia surgiu a partir da preocupação com o aumento da produção de lixo e com a dificuldade que muitas pessoas ainda têm em realizar o descarte correto dos materiais. Através da eletrônica, buscamos propor uma solução que facilite a coleta seletiva e que possa, de alguma forma, colaborar com a preservação ambiental. Para a construção do protótipo, utilizamos sensores para o reconhecimento dos resíduos, motores responsáveis pelo direcionamento para o compartimento adequado e um sistema de controle programado que gerencia o funcionamento integrado de todas as partes. Com isso, a lixeira inteligente foi projetada para simplificar a separação dos materiais recicláveis em diferentes ambientes, como escolas, empresas, shoppings ou até mesmo dentro das casas, diminuindo a chance de erro humano. Os resultados obtidos mostram que o projeto é viável e tem potencial de aplicação prática, já que alia inovação tecnológica com uma necessidade ambiental urgente. Além do que uma solução técnica, a lixeira inteligente também representa um incentivo à conscientização da população, mostrando como a eletrônica pode ser usada de forma criativa para trazer benefícios sociais e ambientais.

Palavras-chave: Lixeira inteligente; Automação; Sustentabilidade; Eletrônica; Reciclagem.

ABSTRACT

This Final Course Work aims to present the development of an automated trash bin capable of identifying and separating recyclable waste in a practical and efficient way. The idea arose from concerns about the increasing production of waste and the difficulty many people still face in properly disposing of materials. Through electronics, we sought to propose a solution that facilitates selective collection and contributes, in some way, to environmental preservation. For the construction of the prototype, sensors were used to recognize the waste, actuators were responsible for directing it to the appropriate compartment, and a programmed control system ensured the integrated functioning of all components. Thus, the smart trash bin was designed to simplify the separation of recyclable materials in different environments, such as schools, companies, shopping centers, or even homes, reducing the chance of human error. The results show that the project is feasible and has practical application potential, as it combines technological innovation with an urgent environmental need. More than a technical solution, the smart trash bin also represents an incentive for public awareness, demonstrating how electronics can be creatively used to bring social and environmental benefits.

Keywords: Smart trash bin; Automation; Sustainability; Electronic

LISTA DE FIGURAS

Figura I - Arduino Uno Smd	5
Figura II - servo motor.....	5
Figura III- Motor de Passo	6
Figura IV - Driver Motor de passo	6
Figura V - sensor de chuva	7
Figura VI- IR Sensor.....	7
Figura VII – sensor de proximidade	8
Figura VIII – Esquemas de funcionamento	9
Figura IX - jumpers.....	9
Figura X - suporte para baterias.....	10
Figura XI - Conector plug P4 macho com borne.....	10
Figura XII- Buzzer Grande	10
Figura XIII - Bateria lítio 18650	11
Figura XIV – Cabo USB	11
Figura XV - Parafuso 3,0 x 12 Mm	11
Figura XVI- Folha de acrílico	12
Figura XVII - compensado	12
Figura XVIII- Cano PVC	12
Figura XIX- Abraçadeira de nylon	13
Figura XX – croqui inicial	16
Figura XXI – croqui final	17
Figura XXII – Representação do circuito do sistema automatizado	17
Figura XXIII - fluxograma	20
Figura XXIV – Protótipo final	24

LISTA DE TABELAS

Tabela I – Quantidade dos materiais eletrônicos.....	13
Tabela II - Quantidade de materiais estruturais	14
Tabela III – orçamento materiais eletrônicos	14
Tabela IV – orçamento materiais estruturais	15

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivos gerais.....	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Reciclagem automatizada.....	3
2.2	Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	3
2.3	Métodos tradicionais de triagem	4
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	5
3.1	Tipos de materiais	5
3.2		5
3.3	Relação de materiais do projeto	13
3.3.1	Quantidade de materiais	13
3.3.2	Orçamento	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
4.1	Layout do projeto.....	16
4.1.1	-Ideia Inicial.....	16
4.1.2	Ideia Final.....	17
4.2	Montagem	17
4.3	Funcionamento.....	18
4.3.1	Fluxograma.....	20
4.4	Software	21
5	CONCLUSÃO.....	24
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

Os problemas que o descarte incorreto de lixo gera estão cada vez mais evidentes na sociedade. Ainda que tenham avanços na coleta seletiva, muitas pessoas ainda não realizam a separação correta dos resíduos, o que acaba por comprometer todo processo de reciclagem (ANDRADE, 2025). Além disso, o acúmulo de lixo descartado incorretamente traz sérias consequências para o meio ambiente e para a qualidade de vida da população.

Diante dessa realidade, percebe-se como é importante desenvolver soluções que ajudem a facilitar o processo de separação de resíduos tornando-o mais simples e acessível. A tecnologia, quando bem aplicada, pode ser uma grande aliada nesse desafio, e foi justamente esse o ponto de partida para o desenvolvimento do nosso projeto: a criação de uma lixeira inteligente.

A proposta deste projeto é apresentar um sistema automatizado capaz de identificar o tipo de resíduo descartado e direcioná-lo para o compartimento correspondente. O protótipo foi desenvolvido com base em sensores, motores e um microcontrolador responsável por processar os dados e comandar os movimentos da lixeira. Assim, buscamos unir a área da eletrônica com a preocupação ambiental, mostrando que a inovação pode caminhar junto com a sustentabilidade.

O projeto não tem como objetivo apenas a construção de um dispositivo, mas também a reflexão sobre como pequenas mudanças no dia a dia pode gerar impactos positivos para o meio ambiente. Ao facilitar a separação do lixo, a lixeira inteligente pode ser uma ferramenta importante em espaços públicos, escolas e residências, incentivando práticas mais conscientes e colaborando para a formação de uma sociedade mais responsável com seus resíduos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

O objetivo geral do projeto é desenvolver um protótipo de lixeira reciclável automatizada capaz de realizar de forma independente, a identificação, classificação e destinação de resíduos, usando de tecnologias de automação e sensores, com o intuito de praticar o processo de coleta seletiva e incentivar práticas sustentáveis de manejo de resíduos.

1.1.2 Objetivos específicos

Projetar e implementar um sistema automatizado integrado a sensores e microcontroladores, capaz de reconhecer e diferenciar materiais recicláveis, como metal, não metal e úmido. Assim, construindo um protótipo funcional que faça a separação automática de resíduos conforme o tipo de material e a partir deste, avaliar, com rigor e sensibilidade técnica, a precisão, a eficiência e a viabilidade do sistema desenvolvido, contrastando seus resultados com os métodos tradicionais de separação manual de resíduos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Reciclagem automatizada

A reciclagem automatizada consiste na utilização de sistemas mecânico e eletrônicos com sensores capazes de identificar e separar materiais recicláveis de forma rápida e precisa. Esses sistemas geralmente utilizam equipamentos como separadores ópticos, peneiras rotativas, imãs industriais e diferentes tipos de sensores, que trabalham em conjunto para reconhecer o tipo de material e direcioná-lo corretamente no processo de triagem (ENERGYCLE, 2025).

Esse tipo de automação reduz significativamente a interferência humana, diminuindo erros, aumentando a eficiência e garantindo maior qualidade nos materiais separados. Além disso, sistemas automatizados conseguem processar grandes volumes de resíduos em pouco tempo, algo essencial em centros urbanos onde a geração diária de lixo é elevada (PLÁSTICOS SUL, 2025).

Assim, diante dos baixos índices de reciclagem no Brasil e da grande quantidade de resíduos destinados de forma inadequada, a reciclagem automatizada surge como uma alternativa tecnológica capaz de melhorar a gestão de resíduos, reduzir impactos ambientais e ampliar o reaproveitamento de materiais, tornando o processo mais eficiente, seguro e sustentável. (ABRELPE, 2019).

2.2 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) englobam todo o conjunto de resíduos produzidos no ambiente urbano, incluindo lixo doméstico, comercial, de serviços públicos, varrição e recicláveis descartados pela população (MMA, 2025). Essa categoria representa uma das maiores demandas dos sistemas de gestão ambiental, principalmente devido ao volume crescente gerado diariamente.

No contexto brasileiro, os RSU são compostos majoritariamente por resíduos orgânicos, seguidos por materiais secos recicláveis como plástico, papel, vidro e metal (MMA, 2025). Essa composição evidencia um grande potencial de reciclagem, desde que haja separação adequada e tratamento eficiente.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para o gerenciamento correto dos RSU, incluindo metas de reciclagem, logística reversa, responsabilidade compartilhada e destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Mesmo com essas diretrizes, estudos apontam que o Brasil ainda enfrenta dificuldades estruturais na coleta e no tratamento dos resíduos. Isso inclui baixa taxa de reciclagem, descarte inadequado e falta de investimentos em tecnologias de triagem (ABRELPE, 2019), fatores que resultam na perda de materiais que poderiam ser reutilizados.

2.3 Métodos tradicionais de triagem

Os métodos tradicionais de triagem são caracterizados pela separação predominantemente manual dos resíduos. Nesse processo, operadores analisam visualmente os materiais que passam por esteiras ou mesas de triagem e os separam conforme o tipo: plástico, papel, vidro, metal, entre outros (PLÁSTICOS SUL, 2025).

Esse método ainda é comum em cooperativas e pequenas centrais de reciclagem, principalmente devido ao baixo custo. No entanto, apresenta diversas limitações técnicas e operacionais. A triagem manual é mais lenta, demanda grande esforço físico, depende totalmente da experiência visual do trabalhador e possui maior probabilidade de erros e contaminação entre os materiais. Além dessas limitações, a triagem manual também está associada a condições de trabalho insalubres e riscos constantes de acidentes. Os operadores ficam expostos a materiais cortantes, perfurantes, produtos químicos, resíduos orgânicos em decomposição e até agentes biológicos que podem oferecer riscos à saúde. A falta de ergonomia, o contato direto com resíduos mal acondicionados e a possibilidade de lesões durante o manuseio tornam a atividade perigosa, exigindo medidas rigorosas de segurança e uso adequado de EPIs, que nem sempre são disponibilizados ou utilizados corretamente (ABRELPE, 2019).

Equipamentos básicos, como peneiras rotativas, imãs industriais e separadores mecânicos simples, costumam ser utilizados como apoio. Porém, mesmo com esses dispositivos, a precisão da triagem ainda é limitada quando comparada a sistemas automatizados, o que reduz a qualidade dos recicláveis e a eficiência geral do processo (ENERGYCLE, 2025).

Dessa forma, apesar de viáveis economicamente, os métodos tradicionais apresentam desempenho inferior e acabam restritos a operações de menor porte, enquanto a automação se mostra mais adequada para demandas maiores e para melhorar a produtividade da cadeia de reciclagem.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Tipos de materiais

3.2



Figura I - Arduino Uno Smd

O Arduino é uma plataforma que possibilita o desenvolvimento de projetos eletrônicos, é uma placa open-source assim, toda a propriedade intelectual é compartilhada entre os usuários. Os usuários então compartilham soluções em códigos para aprimoramentos da plataforma, apenas o nome da marca possui proteção de direitos autorais. Em outras palavras, é uma plataforma de prototipagem eletrônica, é constituído de hardware e software, tornando assim possível a realização de diversos projetos tecnológicos. Um Arduino Uno é apresentado na figura I.

A placa tem como principal componente o microcontrolador, que é um tipo de processador bem menor do que o convencional, ele executa os programas e avalia qualidade das entradas e saídas, ou seja, dos canais pelos quais é possível a comunicação entre mundo externo e digital.



Figura II - servo motor

O servo motor é uma máquina síncrona composta por uma parte fixa (o estator) e outra móvel (o rotor). O estator é bobinado como no motor elétrico convencional, porém, apesar de utilizar alimentação trifásica, não pode ser ligado diretamente à rede, pois utiliza uma bobinagem especialmente confeccionada para proporcionar alta dinâmica ao sistema. O rotor é composto por

ímãs permanentes dispostos linearmente e um gerador de sinais (encoder) instalado para fornecer sinais de velocidade e posição.



Figura III- Motor de Passo

O motor de passo é um tipo de motor que tem a capacidade de converter um sinal de entrada em um ângulo de rotação, com extrema precisão de giro.

Diferente de outros motores, o motor de passo possui um número fixo de polos magnéticos, que determinam os passos do motor sem a necessidade de escovas. A precisão do ângulo de rotação do motor de passo é determinada pelo seu número de passos.



Figura IV - Driver Motor de passo

O driver de motor de passo é um dispositivo eletrônico responsável por realizar o controle preciso do movimento desse tipo de motor. Sua principal função é receber sinais de comando provenientes do CLP ou microcontrolador e convertê-los em pulsos de corrente adequados para energizar as bobinas do motor de forma sequencial. Essa conversão permite que o motor execute deslocamentos em pequenos ângulos, conhecidos como “passos”, garantindo controle de velocidade, posição e sentido de rotação.

O funcionamento do driver baseia-se, geralmente, em três sinais principais: pulso (STEP/PUL), responsável por determinar o avanço do motor; direção (DIR), que define o sentido de giro; e habilitação (ENA), que permite ou bloqueia a operação do dispositivo. Cada pulso

enviado ao driver corresponde a um passo do motor, possibilitando um controle extremamente preciso, amplamente utilizado em sistemas automatizados.

Além disso, o driver atua na proteção elétrica do conjunto, regulando a corrente entregue ao motor e evitando aquecimentos excessivos. Modelos como o A4988, DRV8825 ou TB6600 são frequentemente utilizados em projetos acadêmicos e industriais devido à estabilidade, facilidade de uso e capacidade de controlar diferentes níveis de corrente.

Em síntese, o driver é um componente essencial em sistemas que demandam movimentos controlados e repetitivos, proporcionando confiabilidade e precisão ao acionamento do motor de passo.

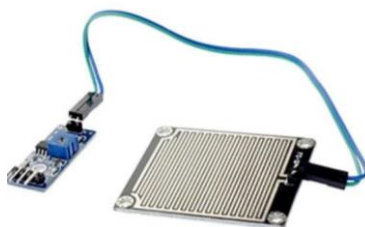


Figura V - sensor de chuva

O sensor de chuva é um dispositivo utilizado para detectar a presença de gotas de água em sua superfície, permitindo que sistemas eletrônicos respondam automaticamente a condições climáticas úmidas. Seu funcionamento baseia-se, geralmente, em uma placa sensora composta por trilhas metálicas paralelas. Quando seca, essa malha apresenta alta resistência elétrica; porém, ao entrar em contato com a água, essa resistência diminui, formando um caminho condutor que é interpretado pelo módulo eletrônico acoplado.

Esse módulo converte a variação de resistência em sinais digitais ou analógicos, que podem ser lidos por controladores lógicos, microcontroladores ou outros equipamentos de automação. Quando o sensor identifica chuva, o sistema pode executar ações pré-programadas, como acionar coberturas, recolher mecanismos expostos, enviar alertas ou interromper processos sensíveis à umidade.



Figura VI- IR Sensor

Trata-se de um componente simples, de baixo custo e eficiente, amplamente utilizado em projetos acadêmicos e industriais que exigem monitoramento ambiental. Sua aplicação melhora a confiabilidade do sistema, garantindo respostas rápidas e automáticas às mudanças climáticas.

Os sensores infravermelhos são muito utilizados, seja em aplicações de movimento, comparação ou até mesmo como leitores. Ele usa a luz infravermelha, que é uma radiação eletromagnética que interage em baixa frequência, sendo menor que a da luz vermelha, está fora do espectro eletromagnético da nossa visão. Por isso, esse tipo de radiação não pode ser detectado pelo olho humano.

Os sensores infravermelhos possuem duas maneiras de operação, a detecção por reflexão, onde um sinal de radiação infravermelha é emitido e um objeto é usado como refletor rebatendo o sinal para um receptor, nesse caso, o sinal tem maior intensidade quando está mais próximo do objeto refletor. E a segunda maneira de operação é a detecção por Interrupção, onde o emissor de sinal infravermelho e o receptor são instalados na mesma direção, com os sentidos opostos, assim, ocorre à detecção se o sinal infravermelho for ultrapassado por algo.

Os sensores infravermelhos podem ser térmicos ou quânticos, o térmico detecta o calor transportado pela radiação infravermelha e o quântico, opera de acordo com a liberação de temperatura que ocorre quando a radiação atinge uma superfície.

Os sensores infravermelhos têm lentes do tipo Fresnel, que permite melhor qualidade e distanciamento dos feixes de luz, os sensores possuem um LED interno que acende quando houver uma invasão do ambiente.

Alguns tipos de sensores possuem detecção por micro-ondas, captando de maneira mais precisa movimentos no ambiente, também podem ter uma função de anti-mascaramento, que identifica bloqueios acidentais ou com o propósito de enganar o sistema. Alguns possuem funções contra disparos desnecessários como a função PET, evitando que a presença de pequenos animais dispare o alarme.



Figura VII – sensor de proximidade

Os sensores de proximidade ou presença são dispositivos usados para detectar, sem qualquer tipo de contato físico, a presença ou ausência de objetos. Emitindo, constantemente, um campo ou um feixe de radiação eletromagnética, o sensor de proximidade detecta mudanças no campo e emite um sinal de retorno. Os sensores de proximidade podem ter alta confiabilidade e longa vida útil devido à ausência de peças mecânicas e à falta de contato físico entre o sensor e o objeto detectado, além de serem componentes muito bem vedados, com vários graus de proteção diferentes, podem trabalhar em ambientes com poeiras (não metálicas) e até mesmo em contato direto com líquidos. Apesar das pequenas distâncias de detecção apresenta excelente precisão e repetibilidade em medições de proximidade.

O Sensor indutivo é composto por um núcleo de ferrita envolto por uma bobina, um circuito oscilador e um circuito disparador em conjunto com um amplificador (Disparador de Schmitt). Podemos observar o princípio de construção na imagem a seguir:

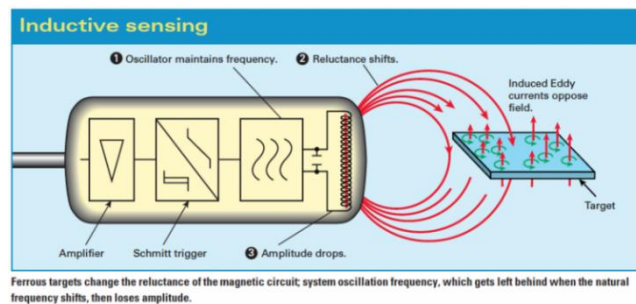


Figura VIII – Esquemas de funcionamento

O princípio de funcionamento do sensor indutivo se dá a partir de um campo eletromagnético variável que é gerado pelo oscilador em conjunto com a bobina na extremidade do dispositivo. Quando um material metálico penetra neste campo são induzidas pequenas correntes parasitas, com a indução no metal ocorre uma diminuição na energia do campo e, conseqüentemente, na amplitude do sinal proveniente do oscilador. Assim, quando este sinal se torna muito baixo o circuito de disparo percebe a mudança e altera a tensão de saída, fornecendo uma resposta lógica, de nível alto ou baixo, que pode ser utilizada no controle do processo.



Figura IX - jumpers

Jumpers são pequenos cabos condutores utilizados em eletrônica e engenharia de prototipagem para estabelecer conexões entre pontos em uma placa de circuito impresso (PCB) ou

em um protoboard. Eles são frequentemente utilizados durante a fase de prototipagem para testar circuitos ou fazer conexões temporárias antes que as conexões definitivas sejam estabelecidas.



Figura X - suporte para baterias

Um suporte para 2 baterias é um dispositivo projetado para acomodar, organizar e fornecer uma conexão elétrica segura para duas baterias em projetos eletrônicos ou aparelhos. Ele funciona como um compartimento que mantém as baterias na posição correta e facilita a integração delas a um circuito.



Figura XI - Conector plug P4 macho com borne

Um conector DC P4 com borne, usado para ligar fios comuns a uma fonte de energia. A parte verde tem dois parafusos onde você prende os fios: o terminal marcado com “+” é o positivo e o marcado com “-” é o negativo. No plug P4, o pino interno corresponde ao positivo e a carcaça externa corresponde ao negativo. É um conector muito usado em projetos eletrônicos porque permite conectar fontes de 5V, 9V ou 12V de forma rápida e segura.



Figura XII- Buzzer Grande

Um buzzer é um componente eletrônico que gera um som, funcionando como um sinal sonoro de alerta ou feedback em dispositivos como alarmes, campainhas e computadores. Existem dois tipos principais: o ativo, que já possui um oscilador interno e emite um som com uma única frequência ao ser energizado; e o passivo, que precisa de um circuito externo para gerar diferentes frequências e permitir a produção de melodias.



Figura XIII - Bateria lítio 18650

Bateria de íons de lítio modelo 18650, componente recarregável utilizado em diversos dispositivos eletrônicos. Possui tensão nominal de 3,7 V e capacidade de 1200 mAh, sendo empregada em equipamentos portáteis devido à boa densidade de energia.



Figura XIV – Cabo USB

Cabo USB tipo A para USB tipo B, utilizado para conexão e comunicação entre computadores e equipamentos como impressoras, scanners, fontes laboratoriais e placas de desenvolvimento.



Figura XV - Parafuso 3,0 x 12 Mm

Trata-se de um conjunto de parafusos máquina com porcas, geralmente em aço inoxidável, utilizados para fixações firmes em estruturas metálicas, componentes eletrônicos e montagens mecânicas que exigem boa resistência e acabamento.

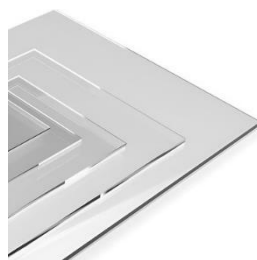


Figura XVI- Folha de acrílico

As chapas acrílicas são placas rígidas e transparentes feitas de PMMA (polimetilmetacrilato). Elas possuem alta resistência, boa durabilidade e excelente capacidade de transmissão de luz, sendo uma alternativa leve e segura ao vidro. Disponíveis em diversas espessuras e tamanhos, são amplamente utilizadas em projetos de caixas, proteções, coberturas, displays, painéis e trabalhos de eletrônica e artesanato. Além disso, podem ser facilmente cortadas, furadas e moldadas com calor, o que facilita sua aplicação em diferentes tipos de projetos.



Figura XVII - compensado

A chapa de compensado é formada por várias lâminas de madeira coladas com as fibras cruzadas para dar mais resistência. Ele é parecido com o madeirite, mas tem acabamento mais fino e uniforme, sendo usado em móveis, projetos artesanais e estruturas leves. O madeirite é um tipo mais simples de compensado, comum na construção civil, enquanto o compensado da imagem é de melhor qualidade e tem aparência mais limpa.



Figura XVIII- Cano PVC

Tubo de PVC utilizado como elemento estrutural, caracterizado por sua extremidade com bolsa de encaixe, permitindo a união segura entre segmentos. Fabricado em policloreto de vinila, é leve, resistente e adequado para condução ou proteção de componentes no projeto.



Figura XIX- Abraçadeira de nylon

A abraçadeira de nylon, também conhecida como enforca-gato, é um componente utilizado para fixação e organização de cabos, tubos e diversos elementos estruturais. Fabricada em poliamida (nylon), apresenta alta resistência mecânica, boa flexibilidade e excelente durabilidade, mesmo em ambientes sujeitos a vibração ou variação térmica.

Seu funcionamento baseia-se em um sistema de travamento unidirecional: após inserida a extremidade lisa no fecho, a abraçadeira se ajusta e permanece firmemente presa, impedindo o afrouxamento. Esse recurso torna o componente simples, confiável e amplamente empregado em projetos eletrônicos, automação, instalações elétricas e montagem de protótipos, garantindo organização e segurança das conexões.

3.3 Relação de materiais do projeto

3.3.1 Quantidade de materiais

Tabela I – Quantidade dos materiais eletrônicos

Materiais	Quantidade
Arduino Uno SMD	1
Motor de passo	1
Drive motor de passo	1
Sensor de chuva	1
Sensor infravermelho (IR)	1
Sensor de proximidade	1
Jumpers	1
Suporte para 2 baterias 18650	1
conector plug P4	1
Buzzer Grande	1
Baterias 18650	2
Cabo USB	1

Tabela II - Quantidade de materiais estruturais

Materiais	Quantidade
Acrílico 40 x 20 Cm x 3mm	1
Madeirite 42cm x 27cm	1
Cano PVC 5"	4
Cano PVC 1"	1
Parafusos 3,0 x 12 Mm	11
Abraçadeiras de nylon	2

3.3.2 Orçamento

As Tabelas apresentam o orçamento dos componentes eletrônicos utilizados no desenvolvimento do protótipo, comparando os valores obtidos em dois fornecedores distintos: Eletrogate e Curto-Circuito. A listagem inclui todos os dispositivos e materiais necessários para o funcionamento do sistema automatizado, como microcontroladores, sensores, motores e acessórios complementares, além dos componentes utilizados na estrutura do projeto como madeirite, parafusos e abraçadeiras. Essa comparação permite identificar variações de preço entre lojas, contribuindo para uma estimativa mais precisa do custo total do projeto e auxiliando na escolha do fornecedor mais vantajoso.

Tabela III – orçamento materiais eletrônicos

Materiais	Eletrogate	Curto-circuito
Arduino Uno SMD	R\$ 49,90	R\$ 53,50
Servo motor 9g sg90	R\$ 14,90	R\$ 16,90
Motor de passo NEMA 17	R\$ 79,90	R\$ 69,90
Drive motor de passo	R\$ 07,90	R\$ 09,90
Sensor de chuva	R\$ 08,46	R\$ 09,90
Sensor infravermelho (IR)	R\$ 06,90	R\$ 06,40
Sensor de proximidade	R\$ 26,90	R\$ 33,00
Jumpers M x M 40u (20cm)	R\$ 08,90	R\$ 08,40
Suporte para 2 baterias 18650	R\$ 05,90	-
Conector plug P4	R\$ 01,80	-
Buzzer grande	R\$ 05,42	-
Cabo USB	R\$ 06,90	-
Módulo TCRT5000	R\$ 7,90	R\$ 6,70
TOTAL:	R\$ 228,68	R\$ 213,12

Tabela IV – orçamento materiais estruturais

Materiais	Mercado livre	Leroy Merlin
Acrílico 40 x 20 Cm x 3mm	R\$ 28,50	-
Madeirite 42cm x 27cm	-	-
Cano PVC 5”	R\$ 32,56	R\$ 26,90
Cano PVC 1”	R\$23,57	R\$ 11,99
Parafusos 3,0 x 12 Mm	R\$ 26 ,94 (1000pçs)	-
Abraçadeiras de nylon	R\$ 14,89	R\$ 24,70
Baterias 18650	R\$ 19,20	R\$ 13,90
TOTAL:	R\$ 133,72	R\$ 93,80

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante o desenvolvimento do protótipo de reciclagem automatizada, duas propostas principais foram elaboradas e comparadas, visto que a transição da Ideia 1 para a Ideia 2 não foi apenas estética, mas fundamentada em critérios de viabilidade, eficiência e otimização do espaço. A primeira proposta ocupava uma área muito maior por depender de uma esteira longa e do alinhamento linear dos compartimentos, enquanto a versão final concentra todo o sistema em uma estrutura mais compacta e organizada. Além disso, ao eliminar a esteira e os múltiplos mecanismos de expulsão, a complexidade mecânica foi reduzida, diminuindo pontos de falha e facilitando a montagem.

A reorganização interna também permitiu uma melhor integração dos sensores, agora posicionados de forma mais estratégica e com menor necessidade de componentes adicionais. Considerando o tempo, os materiais e os recursos disponíveis para o grupo, a proposta final mostrou-se muito mais viável para prototipagem e apresentou um design mais ergonômico, simples de usar, manter e apresentar. Assim, a versão final representa uma evolução natural da proposta inicial, preservando o objetivo de automatizar a separação dos resíduos, mas adotando uma solução mais eficiente, prática e adequada às limitações reais do projeto.

4.1 Layout do projeto

4.1.1 -Ideia Inicial

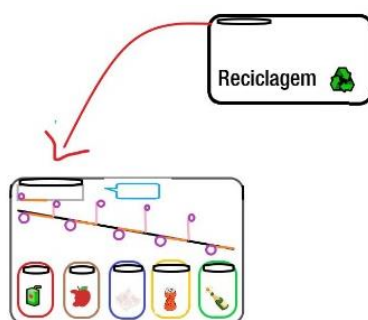


Figura XX – croqui inicial

A primeira concepção do projeto consistia em uma esteira transportadora, posicionada em leve inclinação, por onde os resíduos passariam após o descarte. Ao longo do percurso, diferentes sensores acionariam mecanismos responsáveis por direcionar cada item para seu respectivo compartimento. Visualmente, tratava-se de um sistema mais extenso, com múltiplos pontos de expulsão e uma estrutura lateralmente alongada.

Apesar de tecnicamente funcional, essa proposta apresentava algumas limitações. A principal delas dizia respeito ao excesso de espaço ocupado, tanto em comprimento quanto em largura. Isso dificultaria a implementação em ambientes reduzidos e prejudicaria a mobilidade do protótipo.

Outro ponto crítico era a complexidade mecânica: a presença da esteira e motores adicionais tornava o conjunto mais difícil de montar, ajustar e manter.

4.1.2 Ideia Final

A segunda proposta — que se consolidou como versão final do projeto — reformula completamente a organização interna e aposta em um sistema mais compacto e intuitivo. Em vez de uma esteira longa, os resíduos são lançados em um funil central que direciona o material para um mecanismo de rotação ou distribuição interna. A base conta com compartimentos posicionados em círculo ou semicírculo, otimizando o espaço e reduzindo a área total ocupada.

Também nos inspiramos em conceitos semelhantes aos utilizados na lixeira automatizada da Skynet Robotics, especialmente na ideia de um sistema mais integrado e eficiente para distribuição e seleção interna dos resíduos. (SKYNET ROBOTICS, 2024)

Essa alteração tornou o protótipo significativamente menor, facilitando sua construção física, manuseio e transporte. Além disso, ao reduzir o número de elementos mecânicos — eliminando a esteira e diversos pontos de acionamento — o sistema ganhou maior confiabilidade e simplicidade operacional. O design mais verticalizado também permite melhor aproveitamento da estrutura, tornando a proposta final mais coerente com o objetivo de criar uma lixeira automatizada prática e aplicável.

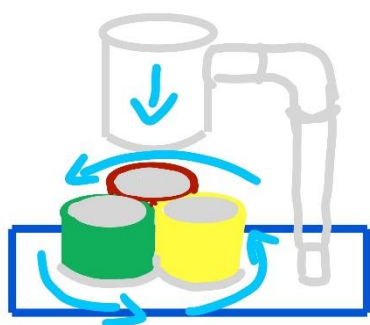


Figura XXII – croqui final

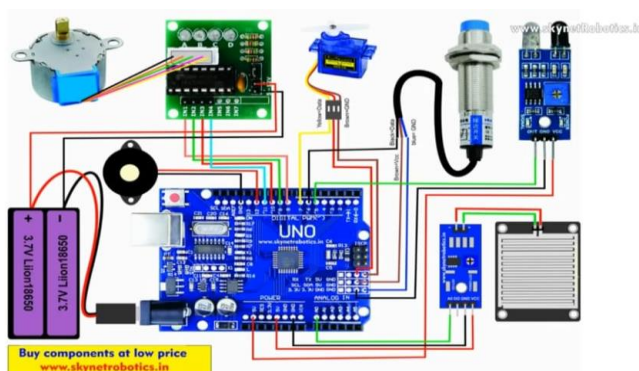


Figura XXI – Representação do circuito do sistema automatizado

4.2 Montagem

A construção do protótipo da lixeira automatizada iniciou-se pela definição da primeira base estrutural, etapa em que optamos pelo uso de madeirite, devido à sua resistência, estabilidade e

facilidade de corte, características essenciais para sustentar todo o sistema. A partir disso, iniciamos a montagem da estrutura, utilizando tubos de PVC para compor o suporte da área destinada à coleta e separação dos resíduos.

Antes de chegarmos ao modelo final, é importante destacar que, na primeira versão do projeto, a intenção não era utilizar uma base giratória. Inicialmente, planejamos uma esteira inclinada que conduziria o lixo até as lixeiras. No entanto, essa ideia apresentou uma série de dificuldades práticas. Uma delas foi a impossibilidade de definir um tamanho uniforme e adequado para as quatro lixeiras simultaneamente, o que prejudicava o alinhamento e a funcionalidade do sistema.

Outro problema crítico dessa proposta era que, para o lixo descer corretamente pela esteira, seria necessário criar quatro aberturas diferentes, cada uma direcionando o resíduo para um compartimento específico. Isso exigiria cálculos muito precisos de inclinação, fluxo e espaçamento, pois qualquer ajuste incorreto faria o lixo travar, cair no compartimento errado ou não descer como previsto. Na prática, percebemos que seria muito difícil garantir o funcionamento ideal desse sistema, tornando a ideia inviável.

Diante dessas limitações, reformulamos completamente o projeto e optamos pela criação de uma base giratória, solução mais eficiente para garantir que cada tipo de resíduo fosse direcionado de forma precisa. Para viabilizar esse sistema, utilizamos uma placa de acrílico como superfície giratória e realizamos um furo central exato para o encaixe do motor de passo, que passou a ser o responsável pelo movimento rotacional. Em seguida, colamos os tubos de PVC ao acrílico, definindo assim os recipientes destinados aos diferentes tipos de resíduos. O alinhamento e a estabilidade foram pontos fundamentais durante essa montagem.

Além disso, foi necessário realizar vários furos adicionais tanto para prender a base giratória quanto para fixar o suporte de coleta e ajustar a estrutura completa. O corte do madeirite, dos tubos de PVC e do acrílico também exigiu atenção constante para assegurar que todas as peças se encaixassem corretamente sem comprometer o funcionamento do protótipo.

4.3 Funcionamento

O funcionamento final da lixeira automatizada utiliza o Arduino Uno SMD como unidade central de controle. É ele quem recebe as informações dos sensores, interpreta o tipo de resíduo e aciona os motores responsáveis pela movimentação da base, garantindo que o lixo seja direcionado corretamente.

O processo inicia-se quando o resíduo é colocado na área de entrada. Nesse momento, os sensores de proximidade identificam a presença do objeto e ativam a sequência de análise. Em seguida, o sistema realiza a identificação do material por meio de diferentes sensores:

- Sensor Infravermelho (IR): contribui para a detecção de materiais que refletem ou bloqueiam luz infravermelha, permitindo distinguir certos tipos de plástico e papel.

- Sensor Indutivo: identifica exclusivamente objetos metálicos, reagindo à interferência causada por metais em seu campo eletromagnético.
- Sensor de Chuva: detecta umidade ou líquidos, auxiliando na separação entre resíduos secos e molhados.

Após essa etapa de identificação, o Arduino processa as informações recebidas e determina qual compartimento deve receber o resíduo. Para realizar o movimento físico de direcionamento, utilizamos dois motores principais:

- Motor de passo NEMA 17, controlado por um driver, responsável por rotacionar a base giratória com precisão. O uso desse tipo de motor garante que a base possa se posicionar exatamente no ponto correspondente ao recipiente adequado.
- Servo motor SG90, empregado para movimentos menores e específicos dentro da estrutura, como ajustes internos ou acionamento de pequenas tampas, quando necessário.

Além disso, o sistema conta com um buzzer, que funciona como alerta sonoro. Ele é acionado para indicar eventos como: detecção de resíduo, conclusão da separação, falha de leitura ou necessidade de atenção no sistema.

Toda a alimentação elétrica do circuito é fornecida por um suporte com duas baterias 18650, que garante energia para o Arduino, motores e sensores. As ligações entre todos os componentes são feitas utilizando jumpers, permitindo organização, modularidade e fácil manutenção.

De forma geral, o funcionamento da lixeira ocorre da seguinte maneira:

1. O sensor de proximidade detecta o resíduo.
2. Os sensores IR, indutivo e de chuva identificam o material.
3. O Arduino analisa as leituras e determina o compartimento correspondente.
4. O motor NEMA 17 gira a base até a posição correta.
5. O servo SG90 realiza ajustes complementares, quando necessário.
6. O buzzer emite sinalizações sonoras informando o status do processo.
7. O resíduo é depositado automaticamente no recipiente adequado.

Assim, o sistema final integra eletrônica, de forma eficiente, permitindo a separação automática dos resíduos de maneira organizada, precisa e funcional.

4.3.1 Fluxograma

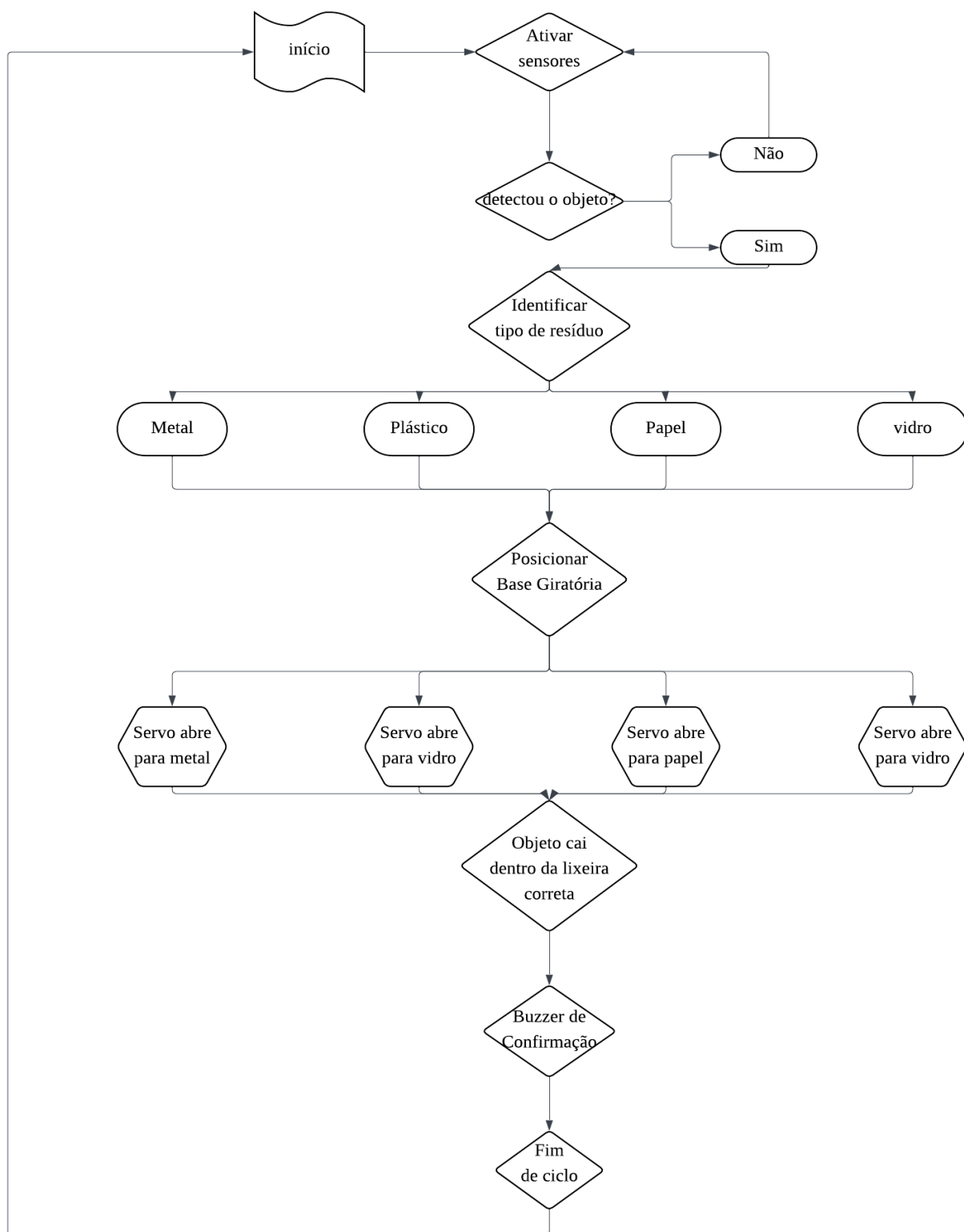


Figura XXIII - fluxograma

4.4 Software

```
// ===== Bibliotecas =====
#include <CheapStepper.h> // Controla o motor de passo.
#include <Servo.h> // Controla o servo motor.

Servo servo1; // Servo ligado no pino 7.

#define ir 5 // Sensor infravermelho no pino 5.
#define prox1 4 // Sensor indutivo (proximidade) no pino 4.
#define buzzer 12 // Alarme sonoro (Buzzer) no pino 12.

int potPin = A0; // Sensor analógico (umidade ou chuva).
int soil = 0; // Valor imediato do sensor.
int fsoil; // Média final (convertida em %).

CheapStepper stepper(8, 9, 10, 11); // Stepper usa portas 8,9,10 e 11.

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(proxi, INPUT_PULLUP); // Fica 1 quando não detecta e 0 quando detecta.
  pinMode(ir, INPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);

  servo1.attach(7); // Servo é inicializado no pino 7.

  stepper.setRpm(17); // Stepper gira 17 rpm.

  // ===== Teste inicial do servo =====
  servo1.write(180); // Abre.
  delay(1000);
  servo1.write(90); // Fecha.
  delay(1000);
}

// ===== Loop principal =====
void loop() {

  fsoil = 0; // Zera a média da umidade a cada loop.

  int L = digitalRead(proxi); // Lê sensor indutivo.

  Serial.print("PROXI = "); // Mostra o valor de proximidade.
  Serial.print(digitalRead(proxi));
  Serial.print(" | IR = "); // Mostra o valor do IR.
  Serial.print(digitalRead(ir));
```

```

Serial.print(" | fsoil = ");
Serial.println(fsoil);

// ===== SENSOR INDUTIVO =====
if (L == 1) { /*1 = não detecta metal* 0 = metal detectado*
  tone(buzzer, 1000, 1000);

  stepper.moveDegreesCW(240); // Stepper motor gira 240°.
  delay(1000);

  servo1.write(180); // Abre.
  delay(1000);
  servo1.write(90); // Fecha.
  delay(1000);

  stepper.moveDegreesCW(120); // Stepper gira mais 120°.
  delay(1000);
}

// ===== SENSOR IR =====
if (digitalRead(ir) == 0) { // 0= Objeto detectado.

  tone(buzzer, 1000, 500); // Buzzer toca.
  delay(1000);

  int soil = 0;

  // ===== DEBUG: MOSTRAR O VALOR REAL =====
  int leituraBruta = analogRead(potPin);
  Serial.print("Bruto = ");
  Serial.println(leituraBruta);
  // =====

  // Média de 3 leituras
  for (int i = 0; i < 3; i++) {

    soil = analogRead(potPin);

    soil = constrain(soil, 100, 1023);

    fsoil += map(soil, 100, 1023, 100, 0);

    delay(200);
  }

  fsoil = fsoil / 3;

```

```

Serial.print("fsoil final = ");
Serial.print(fsoil);
Serial.println("%");

if (fsoil > 5) { // Se > 5% solo úmido o suficiente, < 5% Solo muito seco.
  stepper.moveDegreesCW(120); // Stepper motor gira 120° sentido horário.
  delay(1000);

  servo1.write(180); // Abre.
  delay(1000);
  servo1.write(90); // Fecha.
  delay(1000);

  stepper.moveDegreesCCW(120); // Gira 120° anti horário.
  delay(1000);
}
else { // umidade MUITO baixa (≤5%)
  tone(buzzer, 1000, 500); // Alerta.
  delay(1000);
}
}
}
}

```

5 CONCLUSÃO

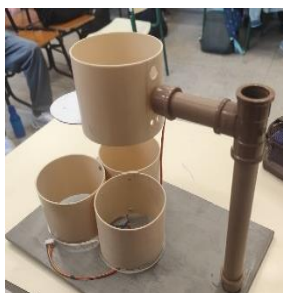


Figura XXIV – Protótipo final

A construção deste projeto foi essencial para entender, na prática, como diferentes componentes eletrônicos podem trabalhar juntos para criar um sistema automatizado. Desde o início, a proposta era desenvolver uma lixeira capaz de identificar materiais e direcioná-los ao compartimento correto, e durante o processo foi possível perceber a complexidade e a importância de cada parte envolvida.

Ao longo do desenvolvimento, foram testados sensores, motores e toda a parte de programação até chegar ao funcionamento esperado. Cada componente teve um papel importante: o sensor ultrassônico detectou a presença do objeto, enquanto os sensores IR e indutivo realizaram a identificação do material. Já o motor de passo e o servo motor garantiram o movimento da estrutura interna, direcionando o resíduo ao compartimento correto. Integrar tudo isso no Arduino exigiu ajustes, testes e correções, mas foi justamente esse processo que trouxe o maior aprendizado.

A fase de montagem também foi significativa. Organizar a estrutura física, adaptar as peças, trabalhar com acrílico, PVC, parafusos e conexões elétricas trouxe uma visão prática de como transformar uma ideia em um protótipo funcional. Não foi apenas montar; foi entender como cada decisão influencia no resultado e na eficiência do sistema.

Além disso, a criação do fluxograma e o desenvolvimento do código ajudaram a visualizar com clareza o comportamento esperado da lixeira, mostrando como o planejamento é essencial para que a lógica funcione corretamente. Muitos erros foram evitados ou corrigidos graças ao mapeamento do processo e à compreensão das etapas de funcionamento.

Mesmo sendo um protótipo, o projeto mostrou como a automação pode contribuir para desafios reais, como o descarte correto e a separação de resíduos. Embora o foco do trabalho tenha sido a parte técnica, é importante reconhecer que a reciclagem tem um papel fundamental no mundo atual, ajudando a reduzir impactos ambientais e incentivando práticas mais sustentáveis. Criar uma lixeira automática que auxilia nesse processo reforça a ideia de que tecnologia e consciência ambiental podem caminhar juntas.

No geral, o projeto cumpriu seu propósito: testar conhecimentos de eletrônica, sensores, programação e montagem, ao mesmo tempo em que apresentou uma solução tecnológica simples, mas útil, para melhorar a separação de materiais. A experiência prática mostrou como teoria e

prática se conectam e como é possível criar algo real unindo criatividade, pesquisa e tecnologia. Além disso, abriu espaço para futuras melhorias, como aumentar a precisão dos sensores, reforçar a estrutura física e ampliar as categorias de resíduos.

Concluindo, este trabalho entregou o que foi proposto e proporcionou uma aprendizagem completa, tanto sobre desenvolvimento de sistemas automatizados quanto sobre a importância de incentivar práticas mais responsáveis no tratamento de resíduos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019. Disponível em: https://www.migalhas.com.br/arquivos/2020/1/492DD855EA0272_PanoramaAbrelpe_-2018_2019.pdf. Acesso em: 24 nov. 2025.

ABB. Entenda o que são sensores indutivos. ABB Loja Online, 23 dez. 2022. Disponível em: <https://loja.br.abb.com/blog/post/sensoresindutivos?srsltid=AfmBOopGpIyNH93hDwnjj5XeoEFfXR9S3oxaScDf2NOISSkuLCkFJj87>. Acesso em: 14 nov. 2025.

ANDRADE, Mariana. Reciclagem no Brasil ainda é baixa, mas fatores podem reverter cenário. Metrôpoles, 2025. Disponível em: <https://www.metropoles.com/brasil/economia-br/reciclagem-no-brasil-ainda-e-baixa-mas-fatores-podem-reverter-cenario>. Acesso em: 14 nov. 2025.

Arduino Uno SMD. Eletrogate. Disponível em: https://www.eletrogate.com/unor3smdch340?srsltid=AfmBOorYt_O6WTPbLPf5uCKyC6y4d48AUThSiWg0y9Ekz5ixmKyePN9. Acesso em: 29 nov. 2025.

Bateria Íon-Lítio 18650. Smartkits. Disponível em: https://www.smartkits.com.br/bateriacr186501200mah?srsltid=AfmBOootNn7D1MHOMMC33wLArYx4GCoqKEI5_QjT3RCw985dXsPkv. Acesso em: 29 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 24 nov. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br>. Acesso em: 24 nov. 2025.

Buzzer Ativo Alta Potência. Eletrogate. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/buzzerativopiezoeletricodealtapotencia?srsltid=AfmBOoqcmNj6HVq6S870wUvyHDidi0yXFUkCleHk3BRMj9pBUCebpJ>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Cabo USB A–B. Eletrogate. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/cabousb20ab50cm?srsltid=AfmBOoqnrrTnHOSCaCo3Uyu8vaOWqZq28gdFgVY3zH6RpoTc9XJe6t>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Carregador de Bateria Íon-Lítio USB-C (HW-373). Makers. Disponível em: https://www.makers.com.br/modulo-carregador-de-bateria-usb-c-hw-373?srsltid=AfmBOopM6ZTCYN_fUOZrcrX0BYKB1xL6fnftENyMhJvmBZX0dJMX4m6e. Acesso em: 29 nov. 2025.

CASA DE SANTO EXPEDITO. Madeirite 6 mm. Casa de Santo Expedito, 2024. Disponível em: <https://casadesantoexpedito.com.br/madeirite-6-mm.html>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Chapa de Acrílico. Mercado Livre. Disponível em: <https://lista.mercadolivre.com.br/chapa-acrilico-transparente-telhado>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Conector P4 Macho com Borne. Nova Azul. Disponível em: <https://novazul.com.br/conector-p4-macho-borne-fcp4mbrn.html>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Driver ULN2003 para Motor 28BYJ-48. Casa da Robótica. Disponível em: https://www.casadarobotica.com/robotica/atuadores/motoresdepasso/kitmotordepasso28byj48driveruln2003?srsltid=AfmBOoqtSx1Dxn93_iFHPcPWPu9hpVjVPEYs9HJeEjY1GgDaLTAdBACY. Acesso em: 29 nov. 2025.

ENERGYCLE. Máquinas de triagem de resíduos sólidos urbanos: gestão eficiente de resíduos. Disponível em: <https://www.energycle.com/pt/maquinas-de-triagem-de-residuos-solidos-urbanos-gestao-eficiente-de-residuos/>. Acesso em: 22 nov. 2025.

Informações sobre sensor indutivo. Automação Expert. Disponível em: <https://automacaoexpert.com/sensor-indutivo/>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Jumpers. Baú da Eletrônica. Disponível em: https://www.baudaeletronica.com.br/produto/jumperpremium40px20cmmachomacho.html?srsltid=AfmBOoo4B3wwqpqQFN0PDutr8xrQB6FQyUO_rzgN6j_bbJwyPkO9UDj. Acesso em: 29 nov. 2025.

MATTEDE, Henrique. O que é motor de passo? Funcionamento e aplicações. Mundo da Elétrica. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-motor-de-passo-funcionamento-aplicacoes/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

MELLO, Márcio. O que é Arduino: para que serve, benefícios e projetos. Victor Vision Blog, 29 nov. 2022. Disponível em: <https://victorvision.com.br/blog/o-que-e-arduino/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

MUNDO DO PLÁSTICO. Triagem automatizada para reciclagem em cinco etapas. 02 maio 2019. Disponível em: <https://mundodoplastico.plasticobrasil.com.br/artigos/triagem-automatizada-para-reciclagem-em-cinco-etapas/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

Motor de Passo 28BYJ-48 (5V). Autocore Robótica. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/motordepasso5v28byj48?srsltid=AfmBOoqQ2LSPf8D1QTf6ss0hAliB82u4Hb8X4UsIobO0CORL9wTDI>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Parafusos e Porcas (3×20 mm). Electroncart. Disponível em: <https://electroncart.in/product/3x20mmphillipsflatheadmachinescrewswithnut25pcs/>. Acesso em: 29 nov. 2025.

REVISTA PLÁSTICOS SUL. A importância da classificação dos resíduos sólidos urbanos e dos plásticos. Disponível em: <https://revistaplasticosul.com.br/maquinas-e-equipamentos/a-importancia-da-classificacao-dos-residuos-solidos-urbanos-e-dos-plasticos/>. Acesso em: 22 nov. 2025.

Sensor de Chuva. Eletrogate. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulosensordechuva?srsltid=AfmBOorYiQH0wh9cAPW4bZOLXyf8rxlCqhb1SnIjQXplF39rV2s02P>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Sensor Indutivo de Proximidade. Eletrogate. Disponível em: https://www.eletrogate.com/sensorindutivodeproximidadenpn?srsltid=AfmBOoqQOuTW541yfKcNqtgpWwMl.Xzx1gktoKokLbVDegyq0_hbNgW. Acesso em: 29 nov. 2025.

Sensor IR (Infravermelho). Casa da Robótica. Disponível em: <https://www.casadarobotica.com/sensordeobstaculoreflexivoinfravermelhoirarduinopic?srsltid=AfmBOoqVJVKSb4Y27J3ouQq2B1nztm8vFPZKEOYjpr3FRF1vSRF0mga>. Acesso em: 29 nov. 2025.

Servo Motor SG90. Curto-Circuito. Disponível em: <https://curtocircuito.com.br/servomotor9gsg90.html?srsltid=AfmBOoriwkBMHI6ZemdcAlVpeXSLu0jkCCdTE9x4RCcywZxJnWiDVSXM>. Acesso em: 29 nov. 2025.

SKYNET ROBOTICS. Lixeira Automatizada – Protótipo Funcional. 2024. Vídeo disponível em: <https://youtu.be/4XedfXtPxLQ?si=MO1IH8wdIMEgb-kX> Acesso em: 17 set. 2025.

STA ELETRÔNICA. Como utilizar o sensor de chuva. Disponível em: <https://www.sta-eletronica.com.br/artigos/arduinos/como-utilizar-o-sensor-de-chuva>. Acesso em: 22 nov. 2025.

Suporte para 2 Baterias 18650. Eletrogate. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/suportepara2baterias18650naoeparapilha15v?srsltid=AfmBOopmLMVZKxyLQjUiMbeZKGO2n73gp0pdCqZJMUbKvk2NeVVNkCpd>. Acesso em: 29 nov. 2025.

WIKIPÉDIA. Servomotor. Wikipédia, a enciclopédia livre. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Servomotor>. Acesso em: 20 nov. 2025.