

# Projeto LISA: Lixeira Inteligente Seletiva Automática

Alexandre Magno da Silva Nunes



CENTRO DE INFORMÁTICA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

João Pessoa, 2018



Alexandre Magno da Silva Nunes

# Projeto LISA: Lixeira Inteligente Seletiva Automática

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Computação do Centro de Informática, da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

**Orientador:** Prof. Dr. Eudisley Gomes dos Anjos

Novembro de 2018

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

N972p Nunes, Alexandre Magno da Silva.

Projeto LISA: Lixeira Inteligente Seletiva Automática /  
Alexandre Magno da Silva Nunes. - João Pessoa, 2018.  
49 f. : il.

Orientação: Eudisley Gomes dos Anjos.  
Monografia (Graduação) - UFPB/Informática.

1. Internet das Coisas. 2. Lixeira Inteligente. 3.  
Reciclagem. I. dos Anjos, Eudisley Gomes. II. Título.

UFPB/BC



CENTRO DE INFORMÁTICA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação intitulado **Projeto LISA: Lixeira Inteligente Seletiva Automática** de autoria de Alexandre Magno da Silva Nunes, aprovada pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

*Eudisley Gomes dos Anjos*

Prof. Dr. Eudisley Gomes dos Anjos

Centro de Informática - Universidade Federal da Paraíba

*Alisson Vasconcelos de Brito*

Prof. Dr. Alisson Vasconcelos de Brito

Centro de Informática - Universidade Federal da Paraíba

*Danielle Rousy Dias da Silva*

Profa. Dra. Danielle Rousy Dias da Silva

Centro de Informática - Universidade Federal da Paraíba

João Pessoa, 6 de novembro de 2018

Centro de Informática, Universidade Federal da Paraíba  
Rua dos Escoteiros, Mangabeira VII, João Pessoa, Paraíba, Brasil CEP: 58058-600  
Fone: +55 (83) 3216 7093 / Fax: +55 (83) 3216 7117



*“Eu pencei, mas aqui cheguei.”*

*- Luiz Gonzaga*



## AGRADECIMENTOS

À Deus, com a sua infinita bondade, por me permitir chegar até aqui.

À minha Mãe, meu Pai, minhas irmãs, minha namorada Gabryela e sobretudo às minhas avós Severina e Gessi, por todo o amor, apoio emocional, educação e tudo que é digno a qualquer pessoa.

Aos grandes amigos/irmãos que fiz ao longo do curso dos quais posso citar Thiago (GOKU), Walsan, Theo, Rennan, Bruno e Emannuel, pela contribuição direta no projeto e pela amizade que levarei para eternidade.

Aos grandes amigos Joanacele e Thiago, pela paciência, conselhos e por toda ajuda que foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e professores Eudisley e Alisson, por acreditarem no potencial do projeto e por serem os exemplos de profissionais que me esforçarei para ser um dia.

À professora Thais, por ser uma pessoa sensacional e por sempre se disponibilizar a ajudar.

## RESUMO

A preocupação com o destino do lixo se amplia proporcionalmente ao crescimento populacional e ao poder de consumo. O lixo mal gerenciado pode ocasionar vários transtornos à sociedade. Os transtornos podem ser evitados com a prática da reciclagem. O trabalho propõe o desenvolvimento de uma lixeira com um sistema para identificação de resíduos sólidos urbanos através de sensores e seleção automática, com o objetivo de facilitar os processos de reciclagem. Também é proposto no trabalho técnicas que buscam motivar as pessoas a descartarem seus detritos em locais adequados, destacando a importância da coleta seletiva. A logística da coleta de lixo, que também é um ponto fundamental na gestão de resíduos sólidos, pode ser otimizada através das informações geradas pela lixeira.

**Palavras-chave:** Reciclagem, Lixeira Inteligente, Internet das Coisas, Gamificação, Sensores.

## ABSTRACT

Concern about garbage expands proportionally to population growth and consumption power. Poorly managed litter can cause various disruptions to society. Disorders can be avoided with a practice of recycling. The work is the development of a waste bin with a system of identification of urban waste through sensors and automatic selection, with the aim of facilitating recycling processes. It is also that these are not tasks that seek to motivate people to separate their waste in locality, highlighting the importance of selective collection. Garbage collection logistics, which is a fundamental point for waste management, can be optimized through the information generated by the bin.

**Keywords:** Recycle, Smart Recycle Bin, Internet of Things, Gamification, Sensors.

## LISTA DE FIGURAS

1	Funcionamento interno do sensor capacitivo. . . . .	25
2	Sensor capacitivo utilizado. . . . .	26
3	Estrutura interna sensor indutivo. . . . .	27
4	Comportamento do oscilador na presença de um objeto metálico. . . . .	27
5	Sensor indutivo utilizado. . . . .	28
6	Sensor infravermelho utilizado. . . . .	28
7	Motor de passos. . . . .	29
8	Servo motor. . . . .	29
9	Arquitetura do sistema da LISA. . . . .	33
10	Arduino UNO. . . . .	36
11	Componente de identificação da LISA. . . . .	36
12	a) Estrutura da lixeira; b) Roldana. . . . .	37
13	Fluxograma do funcionamento do sistema. . . . .	38
14	Resultado do protótipo da Lixeira. . . . .	39
15	Prototipagem do circuito. . . . .	40
16	Plástico posicionado. . . . .	41
17	Abertura da tampa para o descarte. . . . .	41
18	Mensagem capturada pelo Bluetooth. . . . .	42
19	Classificação de plásticos recicláveis. . . . .	44

## LISTA DE TABELAS

1	Cores relacionadas aos resíduos . . . . .	23
2	Constante dielétrica conhecida de alguns materiais. . . . .	26
3	Resíduos aproveitáveis e não reaproveitáveis. . . . .	34
4	Materiais que podem ser detectados por cada sensor. . . . .	35
5	Materiais testados de cada classificação. . . . .	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	Internet das Coisas
LISA	Lixeira Inteligente Seletiva Automática
LUMO	Laboratório de computação Móvel e Ubíqua
MMA	Ministério do Meio Ambiente
RSU	Resíduos Sólidos Urbans
UbiComp	Computação Ubíqua
UFPB	Universidade Federal da Paraíba

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
1.1	Objetivo geral . . . . .	18
1.2	Objetivos específicos . . . . .	18
1.3	Estrutura da monografia . . . . .	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>20</b>
2.1	Internet das Coisas . . . . .	20
2.2	Gamificação . . . . .	21
2.3	Resíduo Sólido . . . . .	21
2.4	Coleta e Tratamento do Lixo . . . . .	22
2.5	Propriedades dos materiais . . . . .	24
2.6	Sensor Capacitivo . . . . .	25
2.7	Sensor Indutivo . . . . .	26
2.8	Sensor Infravermelho . . . . .	28
2.9	Atuadores . . . . .	29
2.10	Trabalhos Relacionados . . . . .	30
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>32</b>
3.1	Etapas de Desenvolvimento . . . . .	32
3.2	Arquitetura do Sistema . . . . .	32
3.3	Definição do Público Alvo . . . . .	33
3.4	Análise dos Materiais . . . . .	33
3.5	Sistema de Identificação . . . . .	34
3.6	Calibração do Sistema de Identificação . . . . .	35
3.7	Definição do Hardware . . . . .	35
3.8	Estrutura da Lixeira e Mecanismo de Seleção . . . . .	36
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b>	<b>39</b>
4.1	Desempenho e Limitações do Sistema . . . . .	42

<b>5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>45</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>46</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O rápido crescimento demográfico no país tem tornando as grandes cidades brasileiras cada vez mais populosas. Segundo as projeções atuais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) existem um pouco mais de duzentos milhões de brasileiros, além disso, a taxa média de aumento populacional é de vinte e um segundos [1]. Em decorrência disso e da melhoria socioeconômica, surge a necessidade de se produzir mais produtos para atender as demandas de consumo da população urbana.

Contudo, esses produtos consumidos em grande escala, geram consequentemente mais resíduos. Devido a isso, as entidades governamentais se veem obrigadas a criar políticas de incentivos à criação de novas tecnologias para uma boa gestão desses detritos, a fim de reduzir seus efeitos negativos [2].

A Lei Federal n.12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece no artigo 7 o inciso XIV o seguinte:

“Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;” [3].

A preocupação com o desfecho do lixo que é gerado pela população é compreensível, visto que, a vida de qualquer ser vivo provoca alterações no ecossistema. Essas alterações que podem ser químicas, biológicas e físicas, provocam um desequilíbrio no meio ambiente, mas este possui a capacidade de se equilibrar de forma natural [4]. Porém quando o desequilíbrio ocorre em grandes proporções, o meio ambiente perde sua capacidade de voltar ao equilíbrio, o que pode trazer consequências irreversíveis para o ecossistema [5].

O panorama de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil em 2016, realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), mostrou que são produzidos aproximadamente duzentos e vinte mil toneladas de lixo por dia. Desse total, mais de trinta mil toneladas ficam a céu aberto diariamente [6]. O lixo a céu aberto são um dos grandes provocadores da degradação do meio ambiente [7].

São vários os problemas associados ao descarte incorreto do lixo, que prejudica diretamente a vida pública. Dentre eles pode-se citar: alagamentos e inundações provocados pela obstrução de bueiros impedindo o escoamento de águas pluviais, bloqueio de vias públicas, amplificação de vetores que afetam na saúde pública, poluição visual que acometem o turismo local, além do desperdício de recursos públicos com a limpeza do ambiente público, que muitas vezes pode ser evitável [8].

Em João Pessoa, capital da Paraíba, todos os dias é retirado em torno de quatro toneladas de lixo das galerias e canais da cidade. Entre esse lixo podem ser encontrados sacolas e embalagens plásticas, garrafas PET, latas de alumínio, papéis, vidros e até pneus. Esses resíduos são descartados inapropriadamente pelo comportamento de uma parte da população, mas toda ela sofre com os impactos resultantes dessas atitudes[9].

Muitas das perturbações são evitadas quando se dá uma destinação adequada para os detritos. O princípio de Reduzir, Reutilizar e Reciclar, conhecido como 3R, é considerado ideal para conter os problemas causados pelo lixo [10]. Contudo, um dos principais motivos que contribui para uma frágil aplicação do princípio 3R está condicionado a uma questão cultural por parte da população, que não faz a separação correta dos resíduos recicláveis. É preciso buscar maneiras de informar as pessoas a importância dessas ações e de incentivá-las a realizarem tal separação [11].

Neste contexto, este trabalho propõe a criação de uma Lixeira Seletiva que proporcione a separação de materiais recicláveis de maneira automática. O projeto visa a criação de novas maneiras para aumentar o volume de RSU reaproveitados e sobretudo motivar as pessoas a descartarem o lixo em locais adequados. As expectativas iniciais com o trabalho são de poder proporcionar um aumento da reciclagem e coleta seletiva trazendo benefícios à população.

## **1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo principal a criação de uma lixeira inteligente capaz de identificar e separar resíduos sólidos urbanos de forma automática.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Criar um circuito de sensores para detecção de materiais;
- Criar um sistema de separação automatizada para simplificação do processo de reciclagem;
- Integrar as instituições de coleta seletiva e catadores, com acesso a informações capturadas pela lixeira;

## **1.3 Estrutura da monografia**

No capítulo 2 será feito um referencial teórico explanando os principais conceitos necessários à compreensão do contexto do projeto tais como internet das coisas, gamificação, tratamento e coleta de resíduos, os princípios dos sensores e dos atuadores.

Também será mostrado o cenário de pesquisas relacionadas à este trabalho. O capítulo 3 mostrará os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do projeto descrevendo cada etapa para sua realização. Os resultados obtidos serão revelados no capítulo 4, enfatizando os testes para avaliação de desempenho e limitações do sistema. Por último, no capítulo 5 é exposto as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será dada uma introdução à alguns assuntos importantes para o embasamento deste trabalho. Inicialmente será falado sobre o conceito de internet das coisas e suas possíveis aplicações e depois será descrito o conceito de gamificação. Em seguida, será mostrado a diferença entre lixo e resíduo sólido, bem como as políticas para gestão desses materiais. Também, considerou-se importante falar sobre os conceitos e princípios dos sensores utilizados e sobre o funcionamento dos atuadores. Por último será falado sobre alguns trabalhos relacionados.

### 2.1 Internet das Coisas

Internet das coisas, do inglês Internet of Things (IoT), é um conceito que visa proporcionar poder computacional e interconexão à objetos comuns do cotidiano [13]. Os objetos que utilizam a IoT se tornam inteligentes, utilizando computação ubíqua, tecnologias de comunicação e redes de sensores, para a realização de atividades específicas [14]. Isso permite que sejam geradas informações por esses aparelhos, que podem ser enviadas para servidores e com isso pessoas possam tomar decisões.

Para ser considerado um objeto inteligente, isto é, estar inserido no contexto de internet das coisas, o aparelho deve conter algumas características. Essas características estão relacionadas as suas funcionalidades e aplicações. As características que os objetos podem conter são [15]:

- **Processamento:** Responsável pelo poder computacional, realiza ações de controle e tomada de decisões.
- **Endereçamento:** Encarregado de permitir a localização do objeto na rede IoT.
- **Identificação:** Responsável pela individualização de cada objeto, possibilitando a distinção entre eles.
- **Localização:** Local onde objeto está situado geograficamente.
- **Comunicação:** Capacidade de trocar informações com outros objetos na rede.
- **Cooperação:** Ação conjunta entre aparelhos que foram definidos para auxiliar as atividades de outros aparelhos.
- **Sensoriamento:** É a capacidade do objeto perceber variações em grandezas do ambiente e transformá-las em dados.
- **Atuação:** Produzir alguma ação ou movimento, conforme a aplicação.

Esse conceito pode ser aplicado em diversas áreas, como por exemplo em casas inteligentes, onde se torna possível receber informações em um aplicativo para celular de um sistema de jardinagem inteligente, que monitora incidência da luz solar, umidade, fertilidade do solo e temperatura através de sensores, possibilitando ao usuário tomar os devidos cuidados em condições adversas [16]. Também pode-se citar outras áreas de aplicações como indústria, saúde, segurança, meio ambiente e cidades [17].

## **2.2 Gamificação**

Do inglês Gamification, a gamificação é um conceito que busca utilizar técnicas de jogos virtuais, para causar o engajamento das pessoas tanto para melhorar suas vidas, quanto para resolver problemas reais, tais como: obesidade, mudanças climáticas, mobilidade urbana, poluição e os demais problemas [18]. Segundo Jane McGonigal, uma das principais desenvolvedoras desse conceito, o que causa o envolvimento das pessoas é a ciência da psicologia positiva, que tem como destaque a felicidade humana [12].

O conceito, que é relativamente recente, vem sendo aplicado crescentemente por empresas e entidades, para transformar as atividades que são repetitivas e não despertam tanto interesse nas pessoas, em atividades mais cativantes, o que gera uma motivação para que o público as realizem [18].

Um exemplo da aplicação da gamificação é o jogo SUPERBETTER, criado para estimular a resiliência das pessoas. Seu principal objetivo é ajudar na superação de depressão, dores crônicas, insônia e traumatismos. O jogo funciona fazendo com que os jogadores estabeleçam metas e desafios, para que na medida que forem cumprindo recebam pontos em diferentes aptidões [19]. Além da saúde e bem-estar a gamificação também pode ser aplicada na educação, setor financeiro, vendas, redes sociais, cidades inteligentes, etc [18].

Uma das principais abordagens da gamificação é a distribuição de recompensas, que são consideradas um dos principais motivos para que os usuários permaneçam no jogo. Na forma de benefícios, essas recompensas são consideradas uma das formas mais simples de gamificar [18].

## **2.3 Resíduo Sólido**

Lixo é todo material ou produto que, após ser usado, não possui mais aplicabilidade, devendo ser assentados de forma correta na tentativa de reduzir seus impactos ambientais. Já Resíduo sólido é o material em estado sólido ou semissólido que pode ser reaproveitado de acordo com a sua composição [4]. As classes de resíduos segundo a Norma Brasileira (NBR) 1004, definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em 2004, são:

- **Resíduos Classe I – Perigosos:** Quando um resíduo apresentar alguma característica física, química ou contagiosa (inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade) que possa causar riscos à saúde pública e ao meio ambiente.
- **Resíduos Classe II A – Não Inertes:** Resíduos que não são considerados perigosos nem inertes, que podem apresentar biodegradabilidade, solubilidade em água e combustibilidade. Alguns exemplos de resíduos desta classe são: matéria orgânica vegetal, papéis e plásticos.
- **Resíduos Classe II B – Inertes:** São resíduos que não apresentam solubilidade em água e não são considerados perigosos. Alguns resíduos desta classe são vidros e tijolos.

## 2.4 Coleta e Tratamento do Lixo

A coleta de lixo é um serviço essencial mínimo de cidadania, onde cada município tem a obrigação de prover boas políticas para gestão de seus detritos. Além do governo municipal, a população geradora de lixo também tem papel fundamental no processo, cabendo a ela fazer um armazenamento seguro do lixo até que seja feita a coleta. Esse armazenamento pode haver diferenciação de acordo com normas estabelecidas em leis, como por exemplo, no caso de resíduos hospitalares, que devem ser separados do lixo comum, para que seja feito um tratamento específico [4].

No caso do lixo domiciliar, não existe restrições legais quanto a diferenciação no armazenamento, mas é coerente destacar que a forma de como se descarta afeta na forma de como se coleta, isto é, se os resíduos são depositados sem nenhuma separação, a coleta acontecerá de uma vez e os resíduos serão misturados, podendo perder a capacidade de serem reaproveitados. Porém, quando há uma separação pelo tipo de material, é possível se aplicar a coleta seletiva, o que aumenta as chances de reaproveitamento desses materiais [4].

A coleta seletiva possui uma padronização internacional de cores, onde cada cor pode ser aplicada em lixeiras ou sacos de lixo, para que seja feita a separação dos resíduos de acordo com seu tipo. Na tabela 1 podemos ver os materiais e suas respectivas cores de acordo com a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente [20].

**Tabela 1: Cores relacionadas aos resíduos. Fonte: [20]**

Cor	Resíduo
Azul	Papel/papelão
Vermelho	Plástico
Amarelo	Metal
Verde	Vidro
Preto	Madeira
Laranja	Perigosos
Laranja	Ambulatoriais e serviços de saúde
Roxo	Radioativos
Marrom	Orgânicos
Cinza	Não passível de separação

Embora muitas cidades brasileiras não implante a coleta seletiva, esse tipo de coleta é realizado muitas vezes por catadores, que contribuem significativamente para o reaproveitamento de materiais no país [21].

Depois de coletado, o lixo pode receber vários tipos de tratamento. Alguns dos tratamentos mais praticados no Brasil são: disposição em lixões, assentamento em aterros controlados ou aterros sanitários, incineração, compostagem e reciclagem. O funcionamento desses tratamentos são [21]:

- **Disposição em lixões:** O lixo é simplesmente despejado em terrenos baldios ou em qualquer outro local aberto, sem nenhum cuidado para evitar impactos ambientais e riscos à saúde pública.
- **Assentamento em aterros controlados:** Os aterros controlados possuem uma pequena evolução com relação aos lixões, pois estes evitam o contato físico do lixo com seres humanos e animais, através do cobrimento dos resíduos gerados. Porém este tipo de aterro não possui técnicas para evitar os danos causados pelo chorume e gases, que são gerados pela degradação do lixo.
- **Assentamento em aterros sanitários:** Os aterros sanitários são considerados os locais mais adequados para despejar o lixo atualmente. Isso porque eles possuem sistemas impermeabilizantes que impedem que o chorume atinja lençóis freáticos. Também possuem formas de drenar os gases poluentes. Assim, conseguem reduzir os impactos ambientais causados pelo lixo.
- **Incineração:** Consiste em colocar os resíduos em câmaras de combustão para realização da queima. Esta queima gera gases nocivos, o que torna responsabilidade

das incineradoras implantar sistemas modernos. Esse processo tem um custo elevado, dessa forma, este processo é indicado preferencialmente para lixo hospitalares e tóxicos.

- **Compostagem:** A compostagem é uma das técnicas de tratamento que visam fazer o reaproveitamento dos resíduos. O procedimento ocorre através do processo biológico em que microrganismos fazem a decomposição de materiais orgânicos de origem vegetal e animal. Ao final da decomposição pode ser obtido um subproduto que é utilizado como adubo.
- **Reciclagem:** Assim como a compostagem, a reciclagem também é um tratamento que objetiva fazer o reaproveitamento dos materiais. É um procedimento industrial que aproveita os resíduos conforme o seu tipo, buscando gerar novos produtos do mesmo tipo do resíduo original. Os tipos mais comuns de resíduos que atendem a demanda industrial são: plásticos, metais, vidros e papéis.

## 2.5 Propriedades dos materiais

O comportamento dos materiais ao sofrerem estímulos específicos, são demonstrados pelas suas propriedades. Os materiais sólidos podem reagir a estímulos mecânicos, térmicos, ópticos, elétricos e magnéticos. Um estímulo mecânico pode ser uma força que cause uma deformação no material, a maneira como esse material se deforma está associada à sua propriedade mecânica. O índice de refração e refletividade do material estão relacionadas às propriedades ópticas. Já as propriedades térmicas avaliam a capacidade térmica e a condutividade térmica [22].

As propriedades elétricas e magnéticas são as mais importantes para compreensão do trabalho, pois elas são exploradas pelos sensores capacitivos e indutivos, respectivamente, utilizados no trabalho e que serão definidos nas próximas subseções.

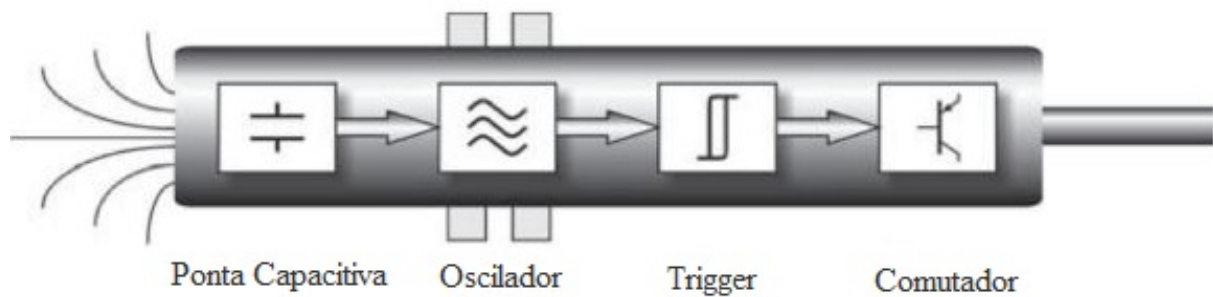
As propriedades elétricas correspondem às respostas do material quando exposto à um campo elétrico. Esse material pode se comportar como um condutor, isto é, permite a passagem de corrente elétrica, ou se comportar como um dielétrico, isto é, isola a passagem de corrente [22]. Na subseção 2.6 será falado sobre os sensores capacitivos, que funcionam baseado nessa propriedade.

O fenômeno de um material exercer uma força de atração ou repulsão sobre outro material é conhecido como magnetismo. As propriedades magnéticas estão relacionadas ao comportamento de um material sobre um campo magnético. Ferro e aço, são exemplos de materiais que possuem essas propriedades [22].

## 2.6 Sensor Capacitivo

Os sensores capacitivos funcionam como capacitores, sendo projetados para gerar um campo eletrostático e perceber mudanças nesse campo, quando algum objeto entrar na sua zona de detecção. O circuito do sensor é composto por uma ponta capacitiva, um oscilador, um circuito trigger e um circuito comutador, como podemos observar na Figura 1 [23].

**Figura 1: Funcionamento interno do sensor capacitivo. Fonte: [23]**



O oscilador fica inativo até que seja posicionado algum objeto próximo à ponta capacitiva. Esse objeto provoca uma alteração na capacitância do sensor, fazendo com que o oscilador seja ativado. Esta ativação gera um sinal que passa pelo trigger que faz a transformação do sinal para uma onda quadrada. Este sinal de onda quadrada estimula o comutador, que faz o chaveamento e deixa passar, ou não, o sinal para a placa controladora [23].

A capacitância (**C**) é determinada pela permissividade ( $\epsilon$ ) do material (ou constante dielétrica), pela área (**A**) do material e pela distância (**d**) para a ponta capacitiva, seguindo a equação (1) [22]:

$$C = \epsilon * \frac{A}{d} \quad (1)$$

De (1) podemos notar que quanto maior a permissividade do material, maior a área do material e menor a distância, maior será a capacitância.

A permissividade, também chamada de constante dielétrica, é uma variável importante a ser explorada para diferenciar os materiais. Isto porque, conforme a sua composição, o material pode assumir uma permissividade específica. Na tabela 2 conseguimos ver alguns materiais e suas respectivas constantes dielétricas conhecidas.

**Tabela 2: Constante dielétrica conhecida de alguns materiais.**

Material	Constante dielétrica ( $\epsilon$ )
Polietileno	2,3
Poliestireno	2,6
Papel	3,85
Vidro	5-10
Água	80

O sensor capacitivo utilizado no trabalho foi o LJC18A3-B-Z/AX, que pode ser observado na Figura 2. Ele possui um led que indica a ativação do oscilador e também possui um regulador que ajusta a sensibilidade da ponta capacitiva, fazendo com que o sensor identifique materiais com algumas faixas de permissividade e outras não. Assim, pode-se ajustar o sensor para detectar o material desejado.

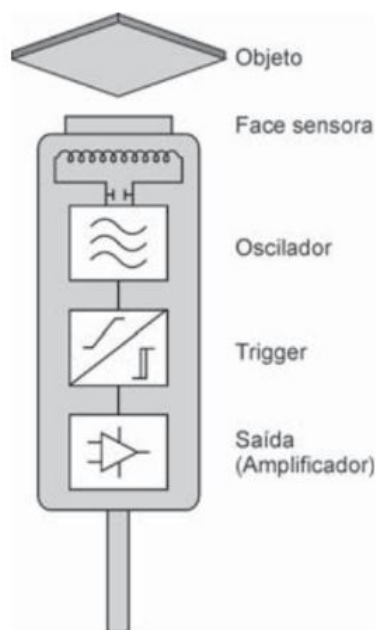
**Figura 2: Sensor capacitivo utilizado.**



## 2.7 Sensor Indutivo

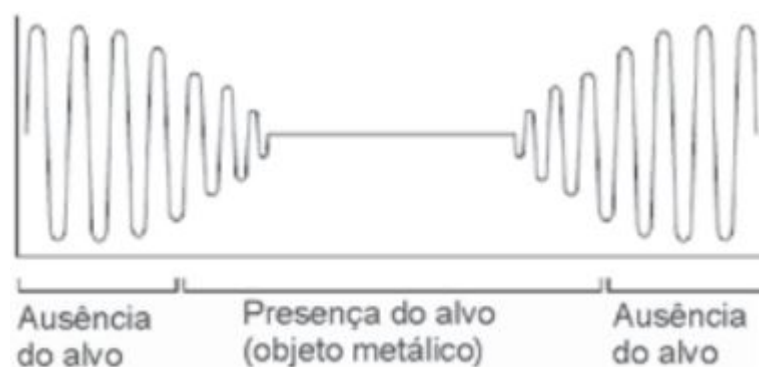
É um dispositivo que emite em sua face sensora, um campo eletromagnético de alta frequência que é gerado por um indutor. Este sensor é composto por uma bobina, um oscilador, um trigger e um amplificador. Na Figura 3 temos um esquema da estrutura interna do sensor [23].

**Figura 3: Estrutura interna sensor indutivo. Fonte: [23]**



Quando um objeto metálico é posicionado na face sensora, ocorre uma indução da corrente elétrica, que resulta em uma perda de energia no oscilador. Esta perda de energia faz com que as oscilações reduzam ou parem, conforme ilustrado na Figura 4. O trigger faz a definição do sinal, que segue para o amplificador gerando o sinal saída [23].

**Figura 4: Comportamento do oscilador na presença de um objeto metálico. Fonte: [23].**



Os metais são materiais que possuem a capacidade de interagir com um campo eletromagnético com mais facilidade, devido a isso, o sensor indutivo tem a capacidade de detectar apenas objetos metálicos [23]. O sensor indutivo utilizado no trabalho pode ser observado na Figura 5. Ele possui um led que indica a atividade do oscilador.

**Figura 5: Sensor indutivo utilizado.**

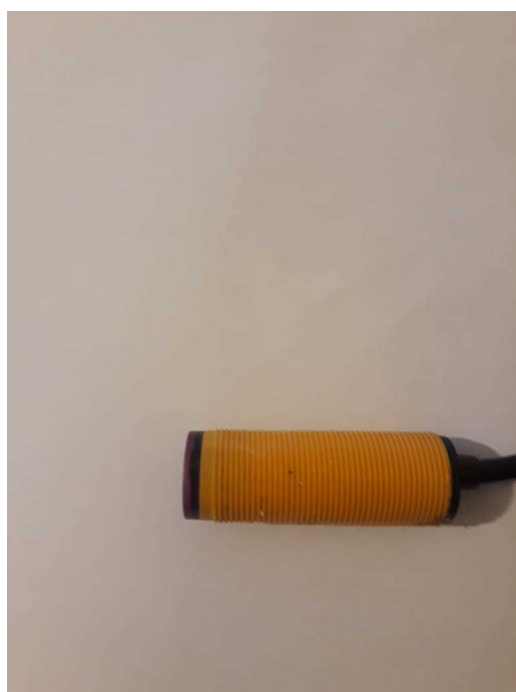


## **2.8 Sensor Infravermelho**

O sensor infravermelho utilizado no trabalho pode ser verificado na Figura 6. Ele é um sensor óptico que utiliza a sinalização infravermelha para detectar qualquer objeto à sua frente sem que haja contato físico [23].

O funcionamento deste sensor se dá pela existência de um emissor, que gera e emite um feixe de luz. Este feixe na presença de um objeto é refletido de forma difusa e é captado por um receptor, que o converte em um sinal elétrico. Tanto o emissor quanto o receptor estão integrados no próprio dispositivo [23].

**Figura 6: Sensor infravermelho utilizado.**



## 2.9 Atuadores

Atuadores são dispositivos que realizam movimentos através de comandos. Neste trabalho, os atuadores utilizados foram um motor de passos e um servo motor.

O Motor de passos é um motor elétrico que por meio de ímãs e indutores, movimenta seu eixo a um determinado ângulo a cada sinal elétrico recebido, isto é, realiza um passo. A velocidade do motor é associada a frequência em que esses sinais são recebidos. Uma grande vantagem desses motores é a precisão de seus movimentos, que permitem sua utilização em aplicações de posicionamento [24].

Na Figura 7, pode ser observado o motor de passos utilizado no projeto.

**Figura 7: Motor de passos. Fonte: [25]**



O servo motor tem basicamente a mesma construção de qualquer outro motor elétrico, porém se difere por incorporar um encoder e um controlador. Isso o permite realizar um posicionamento mais rápido sem perder a precisão. O servo utilizado no trabalho, constatado na Figura 8, é classificado como um micro servo, pois seu peso é de nove gramas (9 g) [26].

**Figura 8: Servo motor. Fonte: [25]**



## 2.10 Trabalhos Relacionados

Atualmente, diferentes abordagens pretendem estimular os cidadãos à descartarem em locais adequados o lixo que produzem. Há trabalhos que oferecem formas de recompensa e outros utilizam processos de gamificação, visando atrair a participação da comunidade. Outros trabalhos promovem a identificação e seleção automática do lixo. Alguns deles utilizam sensores para identificação do material descartado ou câmera para o reconhecimento dos resíduos. Além disso, vale destacar, trabalhos que propõem a transmissão de dados, para otimizar o processo de coleta como [27] e [28].

Foi proposto no trabalho de [29], medidas que pudessem induzir o comportamento da sociedade para ações mais sustentáveis, através do iEcosys, um sistema inteligente de incentivo à reciclagem. Antes da implementação do sistema, um estudo empírico realizado com 130 estudantes de mestrado do Instituto Politécnico da Guarda (IPG), em Portugal, apontou que 97% dos alunos fazem algum tipo de reciclagem, porém apenas 38% considera a reciclagem como método eficiente para a preservação do meio ambiente. Para tentar mudar a opinião das pessoas em relação à reciclagem, o sistema de Reis utiliza sacolas, chamadas de iSacos, que possuem um sistema RFID, para que a lixeira possa identificar o depositante do lixo, e com isso, atribua uma pontuação ao proprietário da sacola, previamente cadastrado. Com a pontuação os utilizadores podem obter descontos em serviços [29].

Outra abordagem, motivada pela preocupação com a limpeza de ambientes públicos foi realizada pela empresa norte americana Emeralds, que desenvolveu uma plataforma gamificada para que as pessoas relatem sobre lixos jogados em locais públicos e depositem algum dinheiro na plataforma, dessa forma pretende-se incentivar outras pessoas a limparem o local. Essa empresa também desenvolveu uma lixeira, chamada de ECan, onde são descartados todos os lixos encontrados, e que permite que um usuário cadastrado se conecte por meio da tela LCD integrada à lixeira, para receber sua recompensa. Existem dois tipos de utilizadores, os que querem que seus bairros sejam limpos e estejam dispostos a dar dinheiro para que alguém realize este trabalho e os que pretendem realizar a atividade em troca da recompensa [30].

Nos trabalhos que buscam proporcionar a identificação e seleção automática de resíduos, existe uma maior predominância em utilizar sensores para distinguir os materiais. O trabalho de Chandramohan, propõe uma solução simples, para o uso doméstico, de separação de resíduos metálicos, úmidos e secos. Eles utilizam sensores indutivos para os metais e capacitivos para lixos úmidos e secos. Os resultados da pesquisa foram satisfatórios para os resíduos em questão [31]. No trabalho de Rajkamal, que propõe uma lixeira chamada de GREENBIN, também se aplica ao uso residencial e utiliza sensor de umidade, sensor indutivo, sensor de metano e sensor de odor. Com isso, a GREENBIN

consegue identificar plástico, papel, vidro, metal e orgânico [32]. Já no trabalho de Kumar, os sensores utilizados são: sensor de umidade, sensor indutivo, sensor capacitivo, sensor de gás, sensor de bactérias. A lógica com esses sensores é programada para identificar metal, plástico e resíduos biodegradáveis. Além disso o trabalho de Kumar utiliza o conceito de internet das coisas para compartilhar informações [28].

O uso de sensores indutivos e capacitivos, permite à aplicação um menor custo, facilidade na implementação e bons resultados na identificação de materiais. No trabalho de Rafeeq, esses bons resultados podem ser observados. Ao identificar metal, com sensor indutivo, o projeto obteve 90% de acertos em testes. O sensor capacitivo, utilizado para identificar plástico ou vidro, atingiu 93% para vidro e 98% para plástico [33].

Outro modo de reconhecer resíduos, é utilizando processamento digital de imagens, como pode ser conferido no trabalho de [34]. O objetivo do trabalho é apresentar um separador de resíduo inteligente, chamado de TrashCan, que usa um sistema multimídia para reconhecer padrões no lixo. No funcionamento do sistema, primeiro pressiona-se um botão que inicia a interface do usuário, para que o sistema multimídia seja iniciado. Em seguida a câmera capta a imagem do resíduo, faz o processamento da imagem, e caso classifique o material, libera o respectivo recipiente para o descarte. Os materiais identificados são latas de alumínio, garrafas plásticas e talheres de plástico. Além disso, o sistema também pode atribuir pontos aos usuários previamente cadastrados com cartões RFID utilizando processamento digital de imagens, como pode ser conferido no trabalho de [34]. Soluções como essa, requerem um maior poder de processamento o que pode elevar o custo do projeto de forma geral, podendo se tornar impraticável no Brasil.

A coleta do lixo é uma etapa importante na gestão de resíduos, o projeto de [27], demonstra o desenvolvimento de um Sistema de Coleta Inteligente e compactação Automatizada do Lixo (SiCICAL), para otimizar a logística de coleta e tentar reduzir os impactos associados ao mau gerenciamento da mesma. O sistema possui lixeiras compactadoras automatizadas, que possuem módulos de comunicação sem fio, seguindo o conceito de IoT, permitindo que as informações geradas sejam gerenciadas em um site em tempo real. O objetivo do trabalho é re-estruturar a logística da coleta e trazer benefícios à sociedade [27].

Diante do cenário de pesquisas pode-se observar uma grande preocupação com a gestão de resíduos sólidos urbanos. A LISA propõe unir as diferentes abordagens encontradas em um só sistema, que possua baixo custo e torne mais viável a implementação no Brasil.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

A Lixeira Seletiva Automática (LISA) utiliza o conceito de internet das coisas para propor formas sustentáveis de garantir a limpeza urbana. O projeto consiste em uma lixeira que busca identificar o tipo do material a ser descartado, através de sensores e separar os resíduos de acordo com a sua composição: papel, plástico, vidro, metal e orgânico. Os resíduos são detectados por meio dos atuadores. Em seguida, as informações são enviadas às entidades que fazem o recolhimento do lixo, a fim de otimizar os processos de reciclagem e os custos de coleta.

Neste capítulo serão apresentados os principais conceitos utilizados para o desenvolvimento da LISA. Inicialmente é realizada a descrição das etapas de desenvolvimento deste trabalho. Em seguida, a arquitetura do sistema proposto e seus componentes são mostrada e explicados. Por fim, as seções seguintes abordam as diversas tecnologias, materiais e métodos utilizados para obtenção dos resultados propostos.

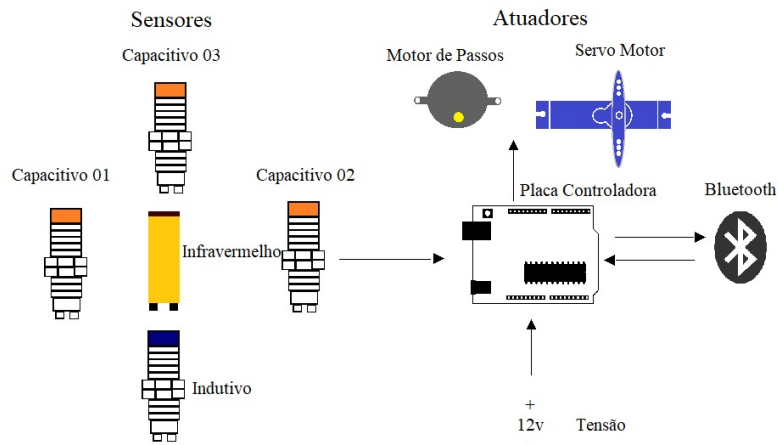
#### **3.1 Etapas de Desenvolvimento**

A primeira etapa do trabalho foi estudar e definir o público alvo da tecnologia desenvolvida, para que se pudesse realizar um projeto apropriado. Em seguida para a escolha dos materiais a serem reciclados foi tomado como base o comportamento desse público alvo. Depois de definir os materiais, foram analisadas suas propriedades, a fim de encontrar sensores no mercado que fossem capazes de mensurar alguma grandezas que pudessem definir/detectar tais materiais. Após a aquisição dos sensores, foi realizada a calibração dos mesmos para a efetivação do sistema de identificação. Em seguida foi definida a arquitetura do hardware, visando a facilidade de implementação e robustez para a aplicação, tornando o sistema com a menor complexidade possível. Após isso, foi realizado à programação do sistema de identificação. Em seguida, foram projetados a estrutura da lixeira e os mecanismos de atuação para separação dos respectivos resíduos, bem como a codificação desse sistema. As subseções seguintes detalham com maior profundidade cada etapa deste processo.

#### **3.2 Arquitetura do Sistema**

Na Figura 9 temos uma visão geral da arquitetura do sistema do projeto LISA, nela podemos observar o conjunto de sensores à esquerda, que mandam informações para a placa controladora. A placa por sua vez, pode mandar um sinal para os atuadores e também trocar informações via bluetooth. A alimentação do sistema recebe uma tensão de doze volts (12v).

**Figura 9: Arquitetura do sistema da LISA.**



### 3.3 Definição do Público Alvo

Na definição do público alvo observou-se o comportamento dos cidadãos, no que diz respeito ao tratamento do lixo. Foi constatado que em locais de grande circulação de pessoas, como praças, parques, áreas comerciais, mercados públicos, praias, entre outros, muitas pessoas ainda jogam os resíduos que produzem de forma incorreta, confirmando os números de [6], que mostram que milhares de toneladas de lixo ainda ficam à céu aberto no Brasil. Além disso, a maioria desses lugares não possuem lixeiras seletivas, o que acaba desperdiçando a oportunidade de reciclagem desses materiais.

Diante disso, este trabalho tem como público alvo as pessoas que utilizam espaços públicos, buscando motivá-las para contribuir com a preservação desses ambientes.

### 3.4 Análise dos Materiais

Os estudos se concentram nos resíduos secos e molhados, que são descartados habitualmente pelo público alvo, definido na subseção anterior. Entre os tipos de materiais investigados estão: metal, plástico, papel, vidro e orgânico. Na Tabela 3 foram listados resíduos correspondentes a cada material, que foram considerados dentro do contexto do público e que pudessem ser reaproveitados, seja por reciclagem no caso dos secos ou por compostagem, no caso dos orgânicos. Além disso, a Tabela 3 também compara quais elementos de cada material são aproveitáveis e não reaproveitáveis. A determinação dos materiais utilizados para detecção foi um passo importante para definição dos tipos de sensores a serem utilizados.

**Tabela 3: Resíduos aproveitáveis e não reaproveitáveis.**

<b>Tipo de Resíduo</b>	<b>Reaproveitáveis (Reciclagem/Compostagem)</b>	<b>Não Reaproveitáveis</b>
Metal	<ul style="list-style-type: none"><li>- Latas de alumínio.</li><li>- Latas de aço.</li><li>- Tampas de garrafa.</li><li>- Embalagens de comida.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Clipes.</li><li>- Grampos.</li><li>- Latas de produtos nocivos ou inflamáveis.</li></ul>
Plástico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tampas.</li><li>- Potes de alimentos.</li><li>- Sacos.</li><li>- Garrafas PET.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Plásticos termofixos.</li><li>- Celofane.</li><li>- Embalagens plásticas metalizadas.</li></ul>
Papel	<ul style="list-style-type: none"><li>- Impressos.</li><li>- Papelão.</li><li>- Envelopes.</li><li>- Cartões e cartolinas.</li><li>- Tetra Pak.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Papéis higiênicos.</li><li>- Papéis engordurados.</li><li>- Fotografias.</li></ul>
Vidro	<ul style="list-style-type: none"><li>- Garrafas de bebidas.</li><li>- Frascos.</li><li>- Potes de alimentos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Espelhos.</li><li>- Ampola de medicamento.</li><li>- Vidros temperados.</li></ul>
Orgânico.	<ul style="list-style-type: none"><li>- Resto de frutas, legumes, alimentos em geral.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Não há restrições desde que seja feito o processamento correto para compostagem.</li></ul>

### 3.5 Sistema de Identificação

Algumas propriedades dos materiais, tais como: características térmicas, mecânicas, elétricas e ópticas, foram investigadas . Dentre elas, a propriedade elétrica demonstrou ser a mais indicada e por isso escolhida inicialmente para as análises. Isso se deve ao fato de essa característica englobar todos os tipos de resíduos e pela possibilidade encontrar-se sensores de baixo custo com maior facilidade.

No mercado, foram encontrados dois tipos de sensores de proximidade que exploram a propriedade elétrica do material. Um deles é o sensor indutivo, que possui a capacidade de detectar objetos metálicos. O outro é o sensor capacitivo, que além de detectar objetos metálicos, também pode detectar outros tipos de objetos, de acordo com a regulação da sensibilidade dos sensores.

Para o sistema de identificação deste trabalho foram adquiridos três sensores capacitivos, um sensor indutivo e um sensor de presença infravermelho, este último com a

finalidade de detectar a presença de algum item ao ser posicionado pelo usuário.

### 3.6 Calibração do Sistema de Identificação

Os sensores capacitivos possuem um regulador localizado na parte de trás, que ajusta o circuito de controle para que seja feita a detecção. Para calibrar esses sensores foram pegos resíduos de cada tipo de material, que foram posicionados na frente dos sensores enquanto se regulava a frequência até que o material pudesse ser percebido. O primeiro sensor capacitivo foi calibrado para detectar materiais orgânicos e além destes, também detectar metais. O segundo foi ajustado para identificar vidros, metais e orgânicos. Por último, o terceiro sensor foi regulado para papéis, também identificando metais, orgânicos e vidros.

O sensor indutivo não possui nenhuma forma de calibragem, porém este sensor detecta naturalmente apenas materiais metálicos. Isso foi confirmado a partir de testes semelhantes à calibração dos sensores capacitivos, como mencionado acima.

Com as informações recebidas dos sensores capacitivos e indutivo, foi possível fazer um cruzamento lógico que possibilitou a classificação do resíduo através do software que foi implementado no controlador do sistema. Vale salientar, que os resíduos plásticos são classificados por exclusão, isso porque não houve a necessidade de adquirir mais um sensor capacitivo para detecção desse material. Contudo, o aumento de sensores aumentaria a resolução e precisão do sistema.

A Tabela 4 mostra os materiais que podem ser detectados por cada sensor, após a calibração.

**Tabela 4: Materiais que podem ser detectados por cada sensor.**

Sensor	Materiais
Infravermelho	Presença de qualquer objeto.
Indutivo	Metais.
Capacitivo 01	Metais e orgânicos.
Capacitivo 02	Metais, orgânicos e vidros.
Capacitivo 03	Metais, orgânicos, vidros e papéis.

### 3.7 Definição do Hardware

Arduino é uma plataforma eletrônica que oferece facilidades na prototipagem de projetos que envolvam hardware. Uma dessas facilidades é o acesso ao microcontrolador, que já vem integrado à placa e possui uma estrutura simplificada para a montagem de

circuitos. Outra facilidade é o software open-source que a plataforma oferece para a programação do microcontrolador [35].

Visando uma maior simplicidade para o sistema, o hardware definido foi o Arduino Uno verificado na Figura 10, pois este possui recursos suficientes para a aplicação, rápida prototipagem, grande compatibilidade com sensores e atuadores, documentação acessível, entre outras características versáteis da plataforma.

**Figura 10: Arduino UNO. Fonte: [35].**



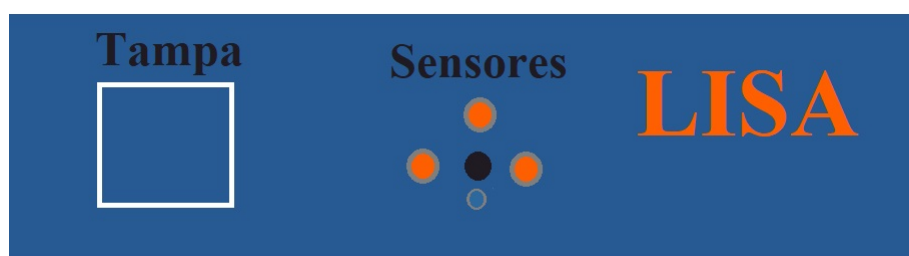
O Arduino possui uma linguagem de programação própria, que é um subconjunto da linguagem C++. Foi nesta linguagem que foi implementado o software para o sistema de identificação, para o controle dos atuadores e para o envio de informações via bluetooth.

### 3.8 Estrutura da Lixeira e Mecanismo de Seleção

O projeto estrutural da LISA foi planejado de forma a envolver o mínimo de atuadores possíveis, para que os recursos disponíveis fossem otimizados e o custo reduzido. Os atuadores utilizados foram um motor de passos e um servo motor. A estrutura da lixeira foi projetada em duas partes: identificação e seleção.

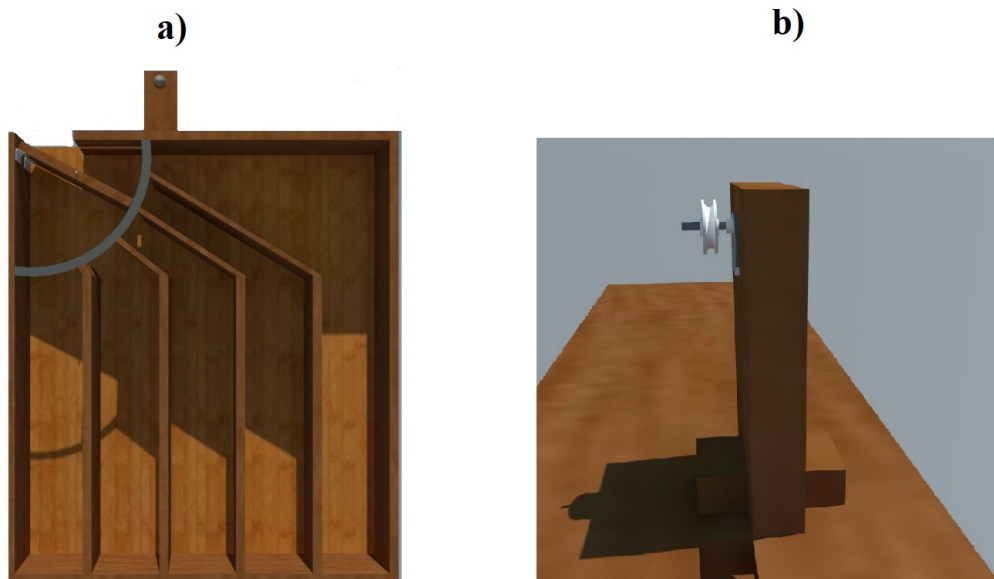
A parte de identificação é uma área que contém os sensores e uma tampa que abre através do servo motor. A detecção é realizada quando o usuário posiciona o resíduo na frente do espaço dos sensores. Na Figura 11 temos uma ilustração dessa componente.

**Figura 11: Componente de identificação da LISA.**



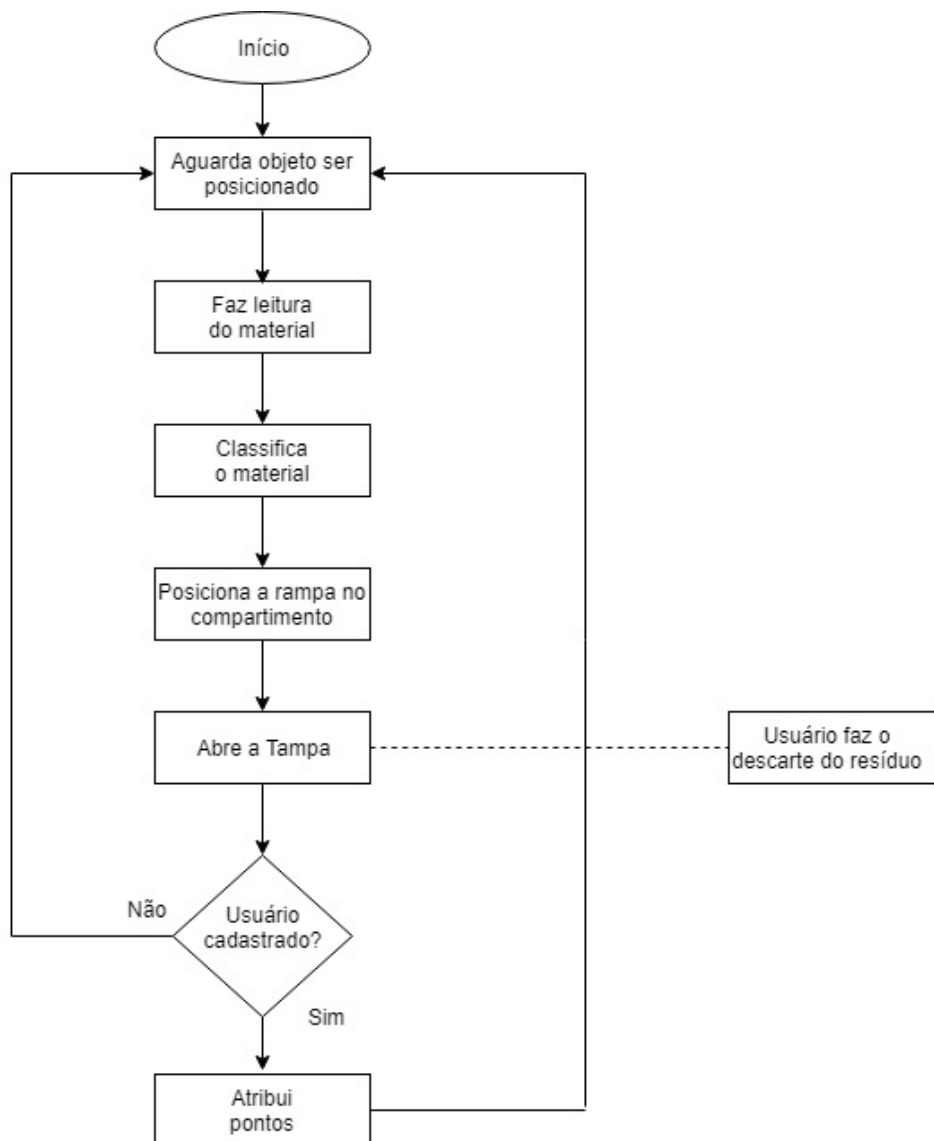
A parte de seleção é dividida em cinco compartimentos, onde cada compartimento corresponde a um material. As categorias dos materiais são: metal, vidro, papel, plástico e orgânico como pode ser visto na Figura 12 a). A seleção é feita através de uma rampa seletora que é tracionada por um fio enrolado em uma roldana, conforme a Figura 12 b), que se movimenta por meio de um motor de passos, fazendo com que essa rampa atinja a posição correta do respectivo compartimento.

**Figura 12: a) Estrutura da lixeira; b) Roldana.**



O funcionamento do sistema segue a seguinte sequência: O usuário posiciona o lixo na frente dos sensores, que mandam informações sobre o resíduo para placa controladora. O sistema de identificação faz o cruzamento lógico e classifica o material. A rampa seletora é acionada e posicionada no respectivo compartimento daquele material. A tampa é aberta para que o usuário faça o descarte do lixo. Na Figura 13 podemos ver um fluxograma desse funcionamento.

Figura 13: Fluxograma do funcionamento do sistema.



## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este trabalho se concentra na construção do protótipo da lixeira, que é apenas uma das partes essenciais do projeto LISA. Tal protótipo é composto de uma estrutura de uma lixeira seletiva que possui uma área para a identificação dos resíduos, uma área para inserção do resíduo, os compartimentos correspondentes à cada material, e a rampa encarregada de fazer a seleção. Para construir tal estrutura foi utilizado madeira compensada. A parte superior à estrutura, que contém os sensores e a porta por onde é descartado o resíduo, foi produzida com isopor (ou poliestireno). A rampa seletora foi produzida com depron que é uma placa de poliestireno extrudada, que possui um pouco mais de rigidez que o isopor mais comum. O resultado desse protótipo é mostrado na Figura x.

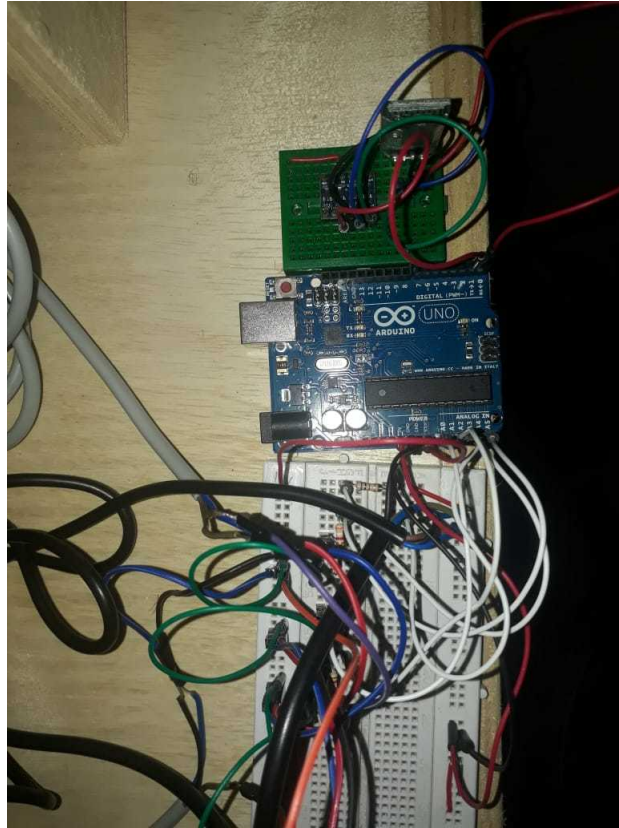
**Figura 14: Resultado do protótipo da Lixeira.**



Na prototipagem do circuito tem-se os cinco sensores ligados ao Arduino através de uma protoboard, onde o conjunto é alimentado por uma fonte de 12 V. Além dos sensores

também estão conectados os atuadores e o um módulo Bluetooth HC-06, encarregado de mandar algumas informações úteis para os testes. O resultado dessa prototipagem pode ser visto na Figura.

**Figura 15: Prototipagem do circuito.**



Foram capturadas algumas imagens para tentar demonstrar o funcionamento real do atual protótipo. A Figura 16 mostra um resíduo plástico posicionado na frente do sistema de identificação e a rampa seletiva posicionada no respectivo compartimento. Depois desse processo, pode ser visto na Figura 17 o momento em que a tampa abre, permitindo o descarte do material. A Figura 18 mostra o recebimento da informação pelo Bluetooth no momento em que é realizada a identificação. Para coletar essas informações foi usado um aplicativo móvel disponibilizado por terceiro.

Figura 16: Plástico posicionado.



Figura 17: Abertura da tampa para o descarte.

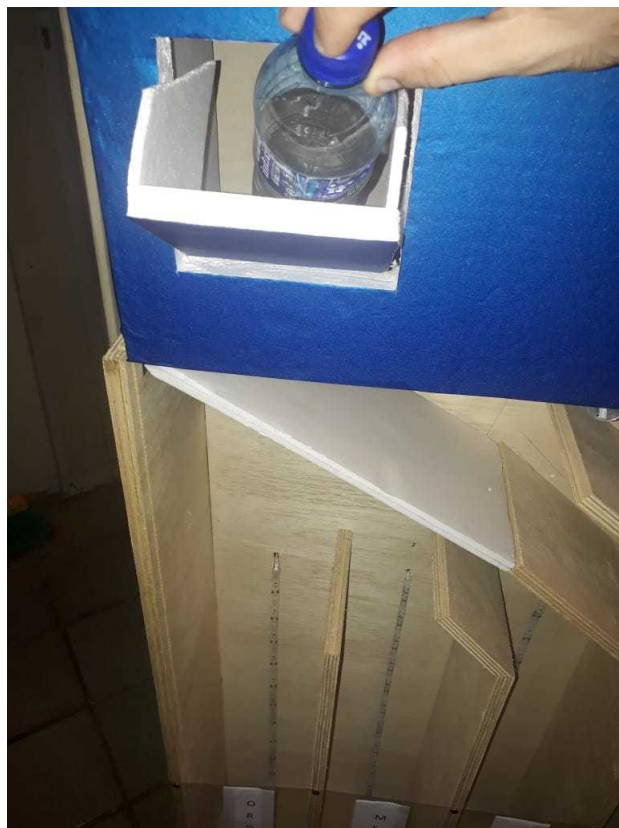
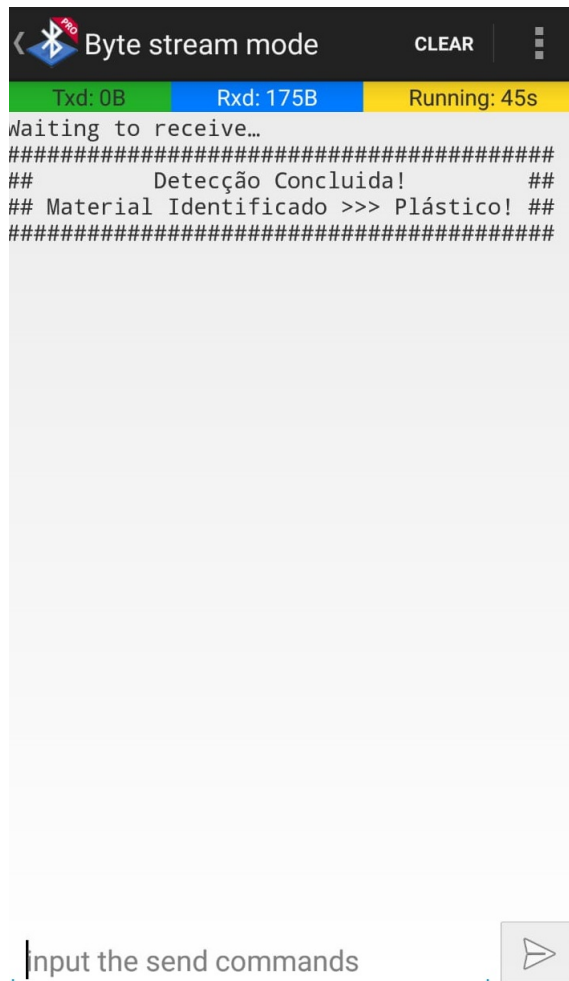


Figura 18: Mensagem capturada pelo Bluetooth.



#### 4.1 Desempenho e Limitações do Sistema

Foram realizados alguns testes no sistema de identificação com o objetivo de encontrar limitações no sistema. Esses testes foram efetuados por uma única pessoa que posicionou corretamente o objeto no sistema, isto é, o objeto encostou em todos os sensores ao mesmo tempo. Diversos materiais foram colocados em diferentes condições para que fosse possível determinar limitações do sistema. As circunstâncias submetidas aos materiais, com exceção dos orgânicos, foram: 1) inicialmente seco e limpo e 2) completamente ou parcialmente sujo ou preenchido com algum líquido (apenas os resíduos em que isso fosse aplicável). A seguir, na Tabela 5 será mostrado quais materiais foram testados nas respectivas classificações.

**Tabela 5: Materiais testados de cada classificação.**

<b>Orgânicos</b>	<b>Metais</b>
- Frutas; - Legumes.	- Ferro; - Aço; - Alumínio.
<b>Vidros</b>	<b>Papéis</b>
- Frascos de perfume; - Garrafas; - Utensílios de cozinha.	- Panfletos; - Folhas A4; - Papelão.
<b>Plásticos</b>	
Poli tereftalato de etileno (PET – 1); Polietileno de alta densidade (PEAD - 2); Poli cloreto de vinila (PVC - 3); Polietileno de baixa densidade (PEBD - 4); Polipropileno (PP - 5); Poliestireno (PS - 6); Outros (7).	

Os resíduos orgânicos não apresentaram nenhuma restrição no sistema. Foram testados algumas frutas e legumes. Em todas as tentativas o sistema classificou esse tipo de resíduo corretamente. As diferentes condições propostas para teste não se aplicam a esse material.

Para testar a classificação dos metais, foram posicionados resíduos de ferro, aço e alumínio. Nos primeiros testes os resíduos estavam limpos e secos. Nestas conjunturas o sistema reconheceu corretamente em todas as tentativas. No segundo momento, os resíduos estavam completamente ou parcialmente preenchidos com água ou com restos de alimentos. Nestas condições o sistema também não apresentou nenhuma falha.

Os vidros nas condições iniciais também não apresentaram falhas. Foram testados garrafas de bebidas, frascos de perfume e utensílios de cozinha. Quando esses resíduos foram completamente preenchidos com líquidos, o sistema apresentou erro em todas as tentativas. Isso acontece porque os líquidos possuem uma constante dielétrica maior e podem ser captadas no interior dos vidros.

Para o teste dos resíduos plásticos utilizou-se os principais tipos de polímeros co-

muns ao dia a dia, que são padronizados pela norma ABNT NBR 13230:2008 – Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – identificação e simbologia. Os símbolos que identificam os tipos de plásticos recicláveis podem ser observados na Figura 19.

**Figura 19: Classificação de plásticos recicláveis. Fonte: [36]**



Foi testado objetos de todos os sete tipos de plásticos recicláveis. Nas condições 1) o sistema classificou corretamente em todas as tentativas. Nos casos em que o objeto estava parcialmente molhado, simulando a condição logo após o consumo do produto, o sistema também obteve sucesso nos testes. Porém nas condições 2), onde o sistema estava completamente preenchido com líquidos, o resultado foi de insucesso em todas as tentativas. Isso ocorreu basicamente pelo mesmo motivo verificado com os vidros.

Os papéis foram os resíduos que apresentaram mais restrições. Eles foram aplicados em condições específicas. Uma condição foi testar a folha de papel intacta e nesses casos o sistema obteve insucesso. As condições em que o sistema obteve sucesso foi quando a folha foi dobrada ou amassada no formato de bola. Outra restrição foi quando o papel era impresso ou riscado em alguns pontos, fazendo com que o sistema errasse em algumas tentativas. O papelão não apresentou limitações.

Também foi realizado um teste de campo em uma eco praça. Neste teste o sensor infravermelho demonstrou limitações no funcionamento quando exposto à luz solar. Isso apesar de ser previsível, acabou sendo desconsiderado na elaboração do sistema de identificação. Porém esse sensor pode ser substituído por um sensor ultrassônico, que não terá essa fragilidade nessas condições e não compromete o funcionamento da aplicação.

## 5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O protótipo criado para o LISA confirmou o cumprimento de um dos propósitos do projeto, que foi criar uma lixeira inteligente que utilizasse poucos recursos e de baixo custo, para que se tornasse viável sua implantação em locais públicos das grandes cidades brasileiras. Os sensores utilizados tiveram um desempenho satisfatório. Os resultados dos testes de identificação indicam, que a abordagem de utilizar sensores capacitivos e indutivos para reconhecer os resíduos é bastante promissora, apesar das limitações encontradas com os sensores utilizados. Os testes de usabilidade não foram realizados dentro do prazo disponível para desenvolvê-lo, porém são considerados importantes para o aprimoramento do sistema de identificação.

Também pode-se citar como resultado do protótipo, um depósito de pedido de patente, juntamente com a Agência de Inovação Tecnológica da UFPB, visto que o projeto possui um potencial tecnológico e a patente protege os direitos sobre a invenção. O projeto LISA também teve exposição em eventos como Arduino Day e apresentação na Rede de Intelicidades. Na ocasião, o LISA foi um dos escolhidos para participar do primeiro projeto piloto promovido pela Rede de intelicidades, que visa angariar investimentos para implantar projetos na cidade de João Pessoa. Também tiveram algumas entrevistas concedidas para emissoras locais de televisão.

Outro resultado do projeto foi seleção pelo programa de pré-aceleração de Startups, promovido pelo SEBRAE da Paraíba. Isso demonstra a sustentação da ideia de que o projeto possui a capacidade de ser comercializado e cumprir o objetivo de trazer retorno à sociedade e ao meio ambiente.

É importante enfatizar que o projeto foi proposto em outra componente curricular do curso de Engenharia de Computação, da UFPB. Essa componente foi a disciplina de Software Para Sistemas Embarcados, onde além do autor do presente trabalho, houveram mais dois participantes que contribuíram para o desenvolvimento da LISA. Os três participantes colaboraram em todos os processos de desenvolvimento, sendo estes: implementação, prototipagem de circuitos e construção da lixeira no geral. O autor deste trabalho, além da participação do desenvolvimento se encarregou pelas pesquisas (público alvo, resíduos, propriedades, sensores), definições das tarefas, gerenciamento do projeto e realização alguns incrementos e melhorias para aprimorar o desempenho dos resultados. Também vale destacar a participação direta dos professores, que prestaram toda orientação necessária para definição de estratégias essenciais para o andamento do projeto. Tudo isso colaborou significativamente com o potencial do projeto LISA.

Como trabalhos futuros pode-se sugerir a continuação do projeto, que envolve a criação de um aplicativo móvel para que o usuário possa se cadastrar e interagir com o sistema de gamificação. Também pode-se recomendar a criação de um servidor de

aplicações.

O funcionamento dos sensores capacitivos utilizados cria algumas restrições quando o objetivo da aplicação é identificar diferentes tipos de materiais em diferentes condições, como é o caso deste trabalho. Isso porque os sensores são construídos para identificar quando existe uma vibração causada pela aproximação de um resíduo. Para este trabalho é mais interessante analisar as vibrações ocasionadas pelo material, o que permite a criação de técnicas de inteligência artificial para fazer a classificação do material em várias condições. Essa hipótese levantada, possibilita trabalhos de pesquisas de sensores que tragam essa funcionalidade, ou caso ocorra insucesso na busca, a oportunidade de desenvolver o próprio sensor.

## REFERÊNCIAS

- [1] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Projeção da população do Brasil e das Unidades da Federação. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/index.html>>. Acesso em: 2 de maio de 2018.
- [2] MUCELIN, C. A., BELLINI, L. M., LIXO E IMPACTOS AMBIENTAIS PERCEPTÍVEIS NO ECOSSISTEMA URBANO. **Sociedade e Natureza**, pp. 111-124, 2008.
- [3] BRASIL. Lei Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2018. Brasília, DF, ago 2010.
- [4] ROSA, André Henrique, FRACETO, F., MOSCHINI-CARLOS, Viviane organizadores. Meio Ambiente e Sustentabilidade. Bookman, São Paulo. 01/2012. [Minha Biblioteca].
- [5] BARSANO, Paulo Roberto, BARBOSA, Rildo Pereira. Meio Ambiente - Guia Prático e Didático, 2nd edição. Érica, 06/2013. [Minha Biblioteca].
- [6] ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Site da Abrelpe: [s.n.], 2016. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/>. Acesso em: 4 de agosto de 2017.
- [7] PRADO FILHO, J. F., SOBREIRA, F. G., DESEMPENHO OPERACIONAL E AMBIENTAL DE UNIDADES DE RECICLAGEM E DISPOSIÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMÉSTICOS FINANCIADAS PELO ICMS ECOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Eng. sanit. ambient.** Vol.12 - Nº 1 - jan/mar 2007, 52-61.
- [8] PENSAMENTO VERDE. Quais são os problemas de não descartar o lixo adequadamente?. 2017. Disponível em: <<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/quais-sao-os-problemas-de-nao-descartar-o-lixo-adequadamente/>>. Acesso em: 10 de abril de 2018.
- [9] JOÃO PESSOA. Lixo jogado na rua pela população é principal causador de alagamentos em JP. 31 ago 2012. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/lixo-jogado-na-rua-pela-populacao-e-principal-causador-de-alagamentos-em-jp/>>. Acesso em: 10 de abril de 2018.
- [10] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Princípio dos 3R's. 20-. <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/consumo-consciente-de-embalagem/principio-dos-3rs>>. Acesso em: 11 de abril de 2018.

- [11] SIMONETTO E. O., BORENSTEIN D., GESTÃO OPERACIONAL DA COLETA SELETIVA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS – ABORDAGEM UTILIZANDO UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO. Porto Alegre, v.13, n.3, p.449-461, set.-dez. 2006.
- [12] MCGONIGAL, J., you found me. 20–.<<https://janemcgonigal.com/play-me/>>. Acesso em: 11 de abril de 2018.
- [13] SANTOS *et al.*, Internet das Coisas: da Teoria à Prática. Belo Horizonte p. 50. 20–.
- [14] AL-FUQAHA A., *et al.*, Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. **IEEE COMMUNICATION SURVEYS AND TUTORIALS, VOL. 17, NO. 4, FOURTH QUARTER.** 2015.
- [15] Faccioni Filho, M. Internet das coisas : livro digital / Mauro Faccioni Filho ; design instrucional Marina Cabeda Egger Moellwald. – Palhoça : UnisulVirtual, 2016. 56 p. : il. ; 28 cm.
- [16] PARROT. Site da Parrot: [s.n.], 20–. <<http://global.parrot.com/au/products/flower-power/>>. Acesso em: 7 de maio de 2018.
- [17] SILVA, L. J., TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: INTERNET DAS COISAS. Palhoça, p. 49. 2017.
- [18] VIANNA Y. et al., Gamification, Inc. Como reinventar empresas a partir de jogos. 1. Ed. – Rio de Janeiro : MJV Press, 2013.
- [19] SUPERBETTER. Site da Superbetter: [s.n.], 20–. <<https://www.superbetteratwork.com/about-us>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.
- [20] RESOLUÇÃO CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001 Publicada no DOU no 117-E, de 19 de junho de 2001, Seção 1, página 80.
- [21] COELHO, R. M. P., Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil. Belo Horizonte, Recóleo, 340 p.2009.
- [22] Jr., CALLISTER, William D., RETHWISCH, David G. Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução, 9ª edição. LTC, 07/2016. [Minha Biblioteca].
- [23] THOMAZINI, Daniel, ALBUQUERQUE, Pedro Urbano de. Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações, 8th edição. Érica, 06/2011. [Minha Biblioteca].
- [24] KALATEC. Site da Kalatec: [s.n.], 20–. <<http://www.kalatec.com.br/motoresdepasso/motor-de-passo/>>. Acesso em: 8 de maio de 2018.

- [25] FILIPEFLOP. Site do Filipeflop: [s.n.], 20–. <<https://www.filipeflop.com/>>. Acesso em: 20 de maio de 2018.
- [26] CITISYSTEMS. Site da Citisystem: [s.n.], 20–. <<https://www.citisystems.com.br/servo-motor/>>. Acesso em: 8 de maio de 2018.
- [27] MOYANO L. F. C. I, ARAUJO R. G. B, SISTEMA DE COLETA INTELIGENTE E COMPACTAÇÃO AUTOMATIZADA DO LIXO (SICICAL): COM ESTUDO DE CASO SALVADOR/BA. **XII SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica**, UNIFACS, p. 123 - 124. 2013.
- [28] KUMAR *et al.*, Eco-Friendly IOT Based Waste Segregation and Management. **International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer and Optimization Techniques**. p. 3. 2017.
- [29] REIS P., PITARMA R., CAETANO F., GONÇALVES C., Sistema Inteligente de Incentivo à Reciclagem. Instituto Politécnico da Guarda, Portugal. p. 957 - 963. 2015.
- [30] EMRALS. Site da Emrals: [s.n.], 2017. <<https://emrals.herokuapp.com>>. Acesso em: 8 de setembro de 2017.
- [31] CHANDRAMOHAN A., *et al.* Automated Waste Segregator. **Texas Instruments India Educators' Conference**, p. 6. 2014.
- [32] RAJKAMAL *et al.*, A Novel Approach for Waste Segregation at Source Level for Effective Generation of Electricity - GREENBIN. Division of Embedded System Technologies / EEE. Division of Embedded System Technologies / EEE 2014. p. 5. 2014.
- [33] RAFEEQ M. *et al.*, Automation of Plastic, Metal and Glass Waste Materials Segregation using arduino in Scrap Industry. Department of Electronics and Communication Engineering, p.5. 2016.
- [34] LONGORIA G. O., RODEA A. O, TORRES G. A., SANCHEZ G. F., MULTIMEDIA INORGANIC WASTE SEPARATOR. Department of Electronics, Systems and IT, ITESO-Jesuit University of Guadalajara. P. 4. 2013.
- [35] ARDUINO. Site do Arduino: [s.n.], 20–. <<https://www.arduino.cc>>. Acesso em: 20 de maio de 2018.
- [36] ABIPLAST. Associação Brasileira da Indústria do Plástico: [s.n.], 20–, <<http://www.abiplast.org.br/>>. Acesso em: 5 de junho de 2018.