

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO DISTRITO FEDERAL - UDF**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENG. MECATRÔNICA**

**VITOR FERNANDO DE OLIVEIRA**  
**MAURÍCIO BATISTA DOS SANTOS**  
**NELSON VICTOR SILVA DOS SANTOS**

**SISTEMA INTERATIVO E GAMIFICADO PARA O INCENTIVO DA COLETA**  
**SELETIVA DE PET NO DISTRITO FEDERAL**

**BRASÍLIA - DF**

2025

**VITOR FERNANDO DE OLIVEIRA**  
**MAURÍCIO BATISTA DOS SANTOS**  
**NELSON VICTOR SILVA DOS SANTOS**

**SISTEMA INTERATIVO E GAMIFICADO PARA O INCENTIVO DA COLETA  
SELETIVA DE PET NO DISTRITO FEDERAL**

Artigo submetido à Coordenação do curso de Mecatrônica, do Centro Universitário do Distrito Federal - UDF, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel / tecnólogo em Eng. Mecatrônica.

Orientador (a): Prof. Karla Roberto Sartin

**BRASÍLIA - DF**

2025

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	4
1.1 OBJETIVOS .....	5
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 COLETA SELETIVA E SUSTENTABILIDADE .....	5
2.2 AUTOMAÇÃO E CONTROLE .....	6
2.2.1 MÓDULO ESP-WROOM-32 .....	6
2.2.2 SENSORES ÓPTICOS REFLEXIVOS .....	7
2.3 INTERFACE DE COMUNICAÇÃO.....	8
2.3.1 JAVASCRIPT .....	8
2.3.2 NODE.JS.....	8
2.3.3 REACTJS .....	8
2.3.4 PROTOCOLO SOCKET.IO .....	9
3. METODOLOGIA .....	11
3.1 DESENVOLVIMENTO ESTRUTURAL DA CABINE.....	11
3.2 SISTEMA ELETRÔNICO.....	12
3.3 TECNOLOGIAS DA PLATAFORMA WEB .....	13
3.4 MODELAGEM DE ATIVIDADES DO SISTEMA .....	14
4. RESULTADOS PARCIAIS.....	15
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18

## RESUMO

O projeto propõe um sistema interativo e gamificado para a reciclagem de polímero politereftalato (PET), trazendo uma alternativa para a coleta seletiva e integração de novas pessoas para a contribuição ao meio ambiente. O desenvolvimento se inicia com a construção da cabine de reciclagem, em seguida o sistema eletrônico e criação da plataforma web. A estrutura da cabine apresentou-se eficiente à referência proposta, o sistema eletrônico e de comunicação atenderam a necessidade de coletar e somar pontos, contribuindo para a estrutura de games proposta.

Palavras-chave: Reciclagem de PET, IoT, Gamificação, Automação, Sustentabilidade.

## ABSTRATC

The project proposes an interactive and gamified system for recycling polyethylene terephthalate (PET) polymer, offering an alternative for selective waste collection and encouraging new individuals to contribute to environmental preservation. The development begins with the construction of the recycling booth, followed by the implementation of the electronic system and the creation of the web platform. The booth structure proved efficient in relation to the proposed reference, while the electronic and communication systems fulfilled the need to collect and accumulate points, supporting the proposed game-based structure.

Keywords: Pet Recycling, Iot, Gamification, Automation, Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil está em um crescimento na reciclagem de plástico Polímero politereftalato (PET), segundo o levantamento feito pelo instituto Caminhos Sustentáveis no Anuário da Reciclagem 2024, cerca de 257 mil toneladas de PET foram recicladas, representando 15% da quantidade destinada à reciclagem. Destas 257 mil toneladas, o Distrito Federal (DF) representa aproximadamente 0,18% do PET reciclado, ultrapassando 400 toneladas de material. Apesar desse avanço, o índice de reaproveitamento de resíduos plásticos ainda pode ser ampliado, principalmente com o uso de tecnologias e estratégias de engajamento que incentivem a participação ativa da população. [1]

Para aprimorar a gestão de resíduos sólidos e aumentar a reciclagem de materiais secos, o DF tem investido em soluções como os papa-recicláveis, cabines destinadas ao recebimento de resíduos como plásticos, papéis, metais e vidros. Informações do relatório anual do SLU (Serviço de Limpeza Urbana) de 2024, existem 315 unidades dessas cabines distribuídas estrategicamente pela região. Embora essa iniciativa tenha ampliado a infraestrutura para a reciclagem, determinados tipos de resíduos, como as garrafas PET, ainda enfrentam desafios específicos. Seu alto consumo, aliado à falta de conscientização e incentivos diretos ao descarte correto, faz com que uma grande parte dessas embalagens ainda não seja devidamente reaproveitada. Essa lacuna revela a urgência de estratégias que combinem tecnologia e ludicidade, especialmente para atrair jovens, principais consumidores de bebidas em PET. [2]

Nesse contexto, o sistema interativo e gamificado para o incentivo da coleta de PET no Distrito Federal diferencia-se ao unir automação e gamificação em uma única solução. Enquanto os papas-recicláveis focam em uma coleta geral de todos os materiais reciclados, este projeto incorpora um videogame interativo onde cada garrafa descartada acumula pontos para desafios virtuais e brindes que podem ser retirados nos pontos de coleta. A cabine desenvolvida utiliza sensores ópticos e microcontroladores ESP32 para identificação precisa do material, enquanto uma plataforma web registra o progresso dos usuários. Essa abordagem não apenas moderniza a infraestrutura de reciclagem, mas também posiciona a Engenharia

Mecatrônica como ferramenta estratégica para causas ambientais, alinhando tecnologia e responsabilidade social.

## 1.1 OBJETIVOS

Tem-se como objetivo geral, propor, desenvolver e validar um sistema interativo gamificado voltado à coleta seletiva de garrafas PET no Distrito Federal.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar o protótipo da cabine de coleta, com um design funcional, compartimentos apropriados para variados tamanhos de garrafas PET e espaço para guardar componentes eletrônicos.
- Instalação de um sistema eletrônico que envolve o uso de sensores microcontrolador para a identificação e contagem das garrafas PET depositadas.
- Desenvolver plataforma web interativa que permita o registro de usuários, a visualização de pontos acumulados, o monitoramento do avanço (gamificação) e a administração de prêmios.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nessa seção foram colocadas as referências teóricas para realização desta pesquisa e envolveu os temas: coleta seletiva; teoria de automação e controle; funcionamento do protocolo *Socket.io* microcontrolador ESP32, das linguagens de programação *JavaScript* e C++, sensores e atuadores utilizados no projeto.

### 2.1 COLETA SELETIVA E SUSTENTABILIDADE

Apesar do crescente acesso à informação e das campanhas de conscientização ambiental, muitos consumidores ainda mantêm uma postura passiva diante da problemática dos resíduos sólidos. Mesmo reconhecendo os impactos negativos do descarte incorreto, especialmente dos plásticos, a mudança de comportamento não ocorre de forma espontânea. Isso evidencia a necessidade de soluções que não apenas informem, mas também envolvam e estimulem ações

práticas. Nesse sentido, o desenvolvimento de ferramentas tecnológicas que promovam a participação ativa da população se torna essencial. “O consumidor sabe o que é prejudicial ao meio ambiente, mas não se envolve a ponto de modificar suas atitudes. São necessários maiores esforços que visem fortalecer a consciência ambiental, para que resulte em atitudes positivas.” [3]

Além da necessidade de transformar a consciência ambiental em atitudes práticas, é fundamental que os municípios adotem estratégias sustentáveis para a gestão dos resíduos sólidos. A coleta seletiva, nesse cenário, se destaca como um instrumento essencial para promover essa mudança. Ela representa uma ferramenta viável e estruturante para a gestão adequada dos resíduos urbanos, contribuindo diretamente para a implantação de planos de gestão integrada e sustentável. [4]

## **2.2 AUTOMAÇÃO E CONTROLE**

Os controles do projeto será a partir do microprocessador ESP32-WROOM-32 que tem como componente os sensores ópticos reflexivos do tipo E18-D80NK. A eletrônica do projeto é baseada no conjunto desses dois componentes e nessa seção está a explicação sobre a funcionalidades.

### **2.2.1 MÓDULO ESP-WROOM-32**

O ESP32, amplamente utilizado em sistemas IoT, apresenta características como processador dual-core, conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada e baixo consumo de energia, essencial para aplicações que exigem processamento em tempo real e confiabilidade em ambientes dinâmicos, como na cabine Recoll3D. Sua combinação de desempenho, custo acessível e versatilidade o torna uma escolha estratégica para automação residencial, industrial e prototipagem além disso, a capacidade do ESP32 de operar como um gateway para integração com plataformas em nuvem, como *ThingSpeak* e *Blynk*, facilita a coleta e análise remota de dados, otimizando processos de monitoramento contínuo. [5]

No projeto, o ESP32 atua como um dispositivo de borda (*Edge device*), processando dados localmente (ex.: contagem de garrafas via sensores ópticos) e transmitindo apenas informações críticas ao servidor (ex.: validação da entrada e soma de pontos). Essa abordagem reduz a dependência de conectividade constante

e minimiza a latência, sendo especialmente relevante em sistemas de gestão de resíduos urbanos, onde a eficiência operacional é crítica. [6] Estudos demonstram que a computação de borda em microcontroladores como o ESP32 pode reduzir a latência de processamento em até 30%, além de diminuir o consumo energético global do sistema. [7]

### **2.2.2 SENSORES ÓPTICOS REFLEXIVOS**

O sistema de detecção de materiais PET em áreas urbanas se fundamenta na utilização de sensores ópticos reflexivos do tipo E18-D80NK que funcionam através da emissão e recepção de luz infravermelha modulada. Estes aparelhos emitem um raio IR (com comprimento de onda entre 850 nm e 940 nm) e medem a intensidade da luz refletida por um objeto, possibilitando a distinção de materiais com base em suas características de reflexão. A alta precisão relatada de 95% para a detecção de PET está ligada à habilidade do sensor de modificar dinamicamente o limiar de detecção em resposta a alterações na luminosidade do ambiente, reduzindo falsos positivos originados de sombras ou reflexos difusos. [8]

A durabilidade do E18-D80NK em ambientes desfavoráveis, como variações de temperatura (-10°C a 50°C) e umidade relativa de até 90%, é assegurada por circuitos integrados com compensação térmica, que recalibram o ganho do fototransistor receptor em tempo real. [9] Esta característica é vital em contextos urbanos, onde a poeira e as partículas suspensas podem prejudicar a leitura óptica. Para minimizar essa questão, o sensor utiliza um algoritmo de filtragem digital que diferencia entre reflexões constantes (objetos) e oscilações temporárias (interferências), como evidenciado em pesquisas em ambientes industriais. [10]

Em comparação com sensores capacitivos, como o E18-D80NK, a eficiência em cenários dinâmicos é 35% maior em comparação com sensores reflexivos. Estes últimos dependem de alterações no campo elétrico e são mais vulneráveis à umidade e a materiais não condutores. [10] Adicionalmente, a calibração dinâmica, baseada em métodos de estações meteorológicas IoT, emprega feedback de sensores auxiliares, como termistores e higrômetros, para ajustar parâmetros operacionais, como a frequência de modulação e a taxa de amostragem, assegurando estabilidade metrológica mesmo em situações de mudanças abruptas de temperatura. [9]



Por fim, a escolha do E18-D80NK é justificada pela sua habilidade de se adaptar a uma variedade de texturas e cores de PET, graças a um sistema de reconhecimento de padrões embarcado, que associa padrões de reflexão a bases de dados previamente treinadas. Esta propriedade diminui a necessidade de condições de iluminação ideais, tornando-o apropriado para usos em vias públicas e centros de triagem urbanos. [8]

## 2.3 INTERFACE DE COMUNICAÇÃO

As tecnologias de comunicação são baseadas em *JavaScript*, como *Node.js*, *ReactJS* e a biblioteca *Socket.IO*, que atuam em conjunto para estruturar, processar e atualizar dados de forma contínua em aplicações *web*.

### 2.3.1 JAVASCRIPT

Em 1995, Brendan Eich criou o *JavaScript*, uma linguagem de programação voltada para as páginas da internet. Antes, os sites eram apenas textos e imagens estáticas, mas o *JavaScript* permitiu adicionar interatividade, como botões que reagem quando clicados, formulários que avisam se você esqueceu de preencher um campo, ou animações. “O *JavaScript* é uma linguagem interpretada, o que significa que o código fonte é executado diretamente por um interpretador em tempo de execução, sem a necessidade de compilação prévia.” [11]

### 2.3.2 NODE.JS

“*Node.js* é um ambiente de programação em *JavaScript* que permite ao seu desenvolvedor criar ferramentas e aplicações que funcionem de forma autônoma, independentemente de qualquer navegador.” [12] Sua aplicabilidade baseia-se em tratar várias requisições efetuadas em uma única tarefa, o que difere de um sistema tradicional como o *Apache hypertext Transfer Protocol (HTTP) Server*, que a cada requisição efetuada pelo usuário é aberta uma tarefa.

### 2.3.3 REACTJS

Em 2013, desenvolvedores no Facebook usaram o *JavaScript* para criar o *ReactJS*, uma ferramenta que simplifica a montagem das telas que o usuário vê, como campos de formulário ou painéis que exibem dados. O *ReactJS* é ideal para telas que respondem na hora, como um painel que mostra a quantidade de itens colocados em uma máquina, oferecendo uma interação rápida e natural. [12]

O *ReactJS* organiza os sites como um conjunto de blocos de montar, chamados componentes, que são pedaços reutilizáveis, como um botão ou uma caixa de texto, que você pode usar várias vezes sem precisar redesenhar. Ele também usa um conceito chamado Single Page Application, ou SPA, que é como um livro mágico: em vez de trocar de página toda vez que você clica, ele atualiza apenas as partes necessárias, mantendo o site rápido e sem recarregar. Isso faz o *ReactJS* ideal para sites dinâmicos. [12]

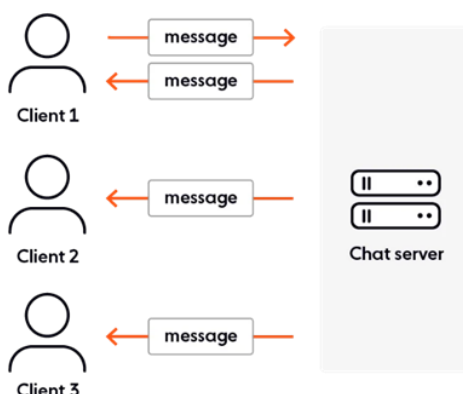
### 2.3.4 PROTOCOLO SOCKET.IO

O *Socket.IO* é uma ferramenta que facilita a transmissão instantânea de dados entre navegador e servidor, utilizando a base técnica do *JavaScript* e integrando-se ao *Node.js* para suportar sistemas que requerem respostas rápidas. Essa biblioteca estabelece um vínculo persistente para troca de informações, eliminando a necessidade de atualizações frequentes da página. É frequentemente empregada em aplicações que necessitam de exibição contínua de informações, como a apresentação de valores medidos por um equipamento em uma interface dinâmica. [13]

O *Socket.IO* opera por meio de um mecanismo de troca contínua de dados, permitindo que o navegador e o servidor se comuniquem de forma simultânea através de ações definidas. Por exemplo, o navegador pode sinalizar uma operação, como a detecção de um novo objeto, e o servidor retornar os resultados processados, como uma medição atualizada. Esse método proporciona resposta imediata e desempenho otimizado, sendo especialmente eficaz em sistemas que combinam interfaces desenvolvidas em *ReactJS* com cálculos realizados no *Node.js*, promovendo interações precisas e contínuas. [13]

A figura 1, ilustra a comunicação por meio de *Sockets.IO* que permite a troca de mensagens entre o usuário e o servidor sem a necessidade de atualizações constantes.

**Figura 1 - Exemplo de comunicação Socket.IO**



**Fonte:** Elaborado por Ably Realtime, 2022

A Tabela 1 resume as principais características de confiabilidade do *Socket.IO*, elaborada com base na documentação oficial da biblioteca considerando aspectos como confirmação de recebimento, reconexão automática, suporte a transportes múltiplos, entre outros.

**Tabela 1 – Características de Confiabilidade do Socket.IO**

Recurso	Socket.IO
<b>Confirmação de recebimento</b>	Sim (com ack opcional por evento)
<b>Reconexão automática</b>	Sim
<b>Entrega garantida (best-effort)</b>	Sim (mas depende do transporte)
<b>Ordem das mensagens</b>	Sim (mensagens seguem ordem de envio)
<b>Suporte a múltiplos transportes</b>	Sim ( <i>WebSocket</i> , <i>polling</i> , etc.)
<b>Comunicação bidirecional</b>	Sim
<b>Suporte a namespaces</b>	Sim (permite isolar lógicas distintas)
<b>Suporte a salas (rooms)</b>	Sim (para agrupar clientes)

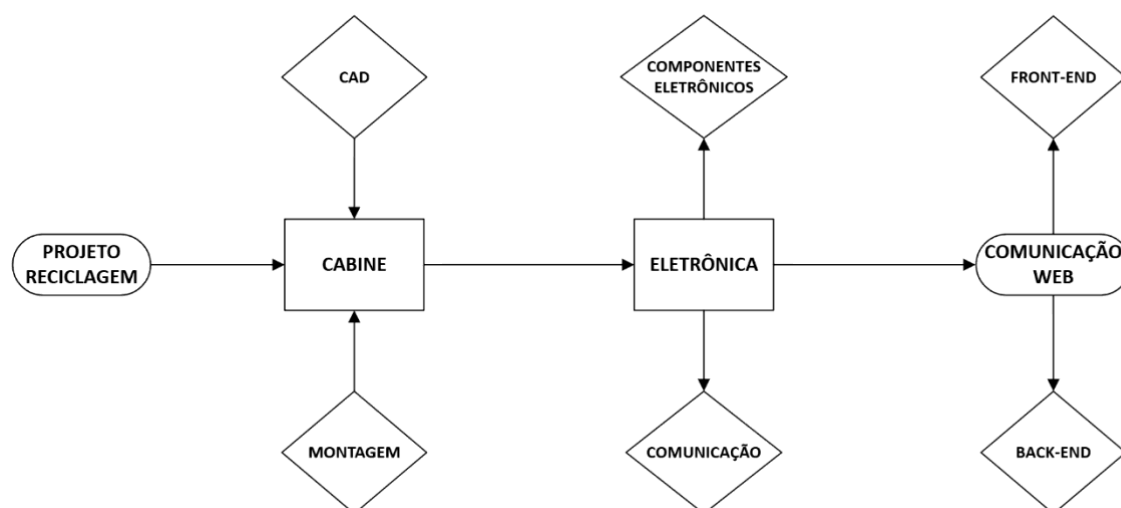
**Fonte:** Elaborado por Socket.IO, 2025

Esse conjunto de características torna o *Socket.IO* uma ferramenta amplamente adotada em projetos modernos que dependem de conexões estáveis e reativas.

### 3. METODOLOGIA

A seção a seguir descreve o processo na criação do projeto, detalhando os materiais, protocolos de comunicação, métodos de programação e instalação para alcançar os objetivos propostos. Inicialmente apresenta-se a criação da cabine, detalhando sua prototipagem, em seguida o desenvolvimento do sistema eletrônico e por último temos a modelagem da plataforma web. A Figura 2 detalha o Fluxograma da metodologia, trazendo uma visão geral de todo o projeto.

**Figura 2 – Fluxograma Metodologia**

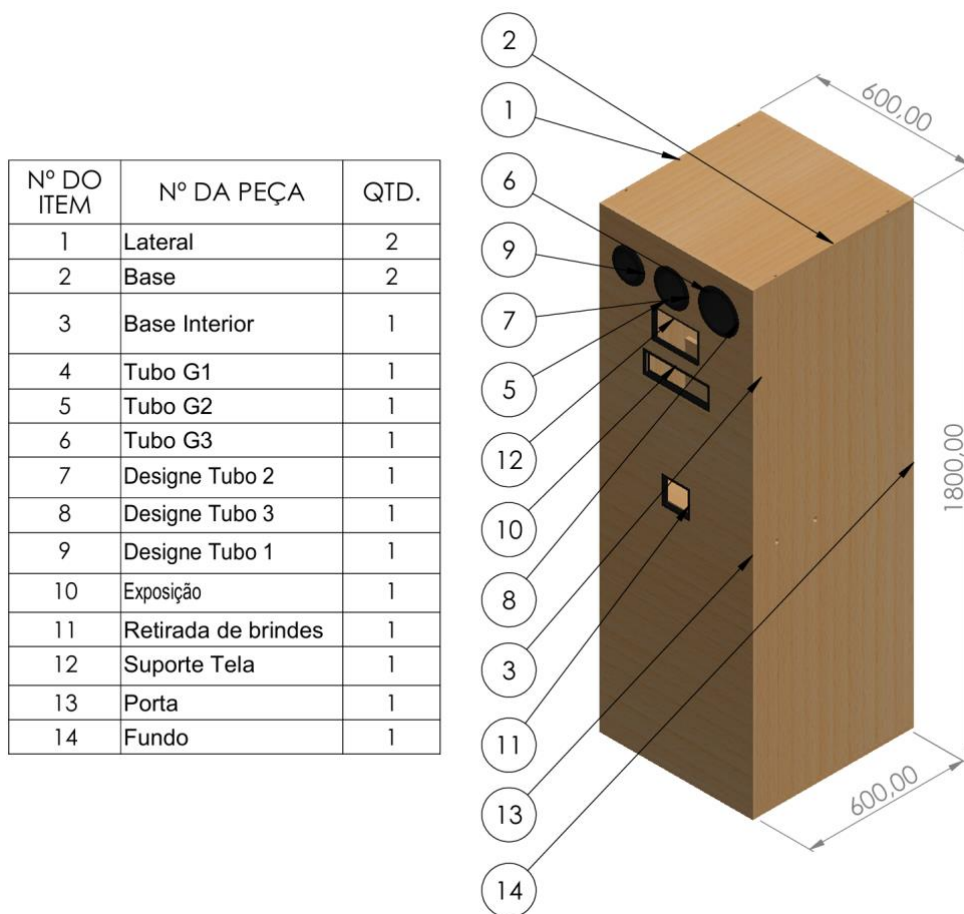


Fonte: Visio, 2025

#### 3.1 DESENVOLVIMENTO ESTRUTURAL DA CABINE

A cabine de reciclagem foi projetada no software SolidWorks (Figura 3) para criar um protótipo conceitual, priorizando a visualização do espaço interno e a disposição dos componentes. A estrutura contém acabamentos impressos em 3D (Impressora *Ender 3*) e sua estrutura montada em MDF, com painéis laterais, porta, topo, base e fundo. No interior, uma divisória separa o armazenamento de garrafas da parte eletrônica, enquanto três compartimentos superiores são adaptados para garrafas de 500 mL a 3L, equipados com sensores E18-D80NK. A base inferior serve como depósito temporário para os resíduos processados.

**Figura 3 - Vista Isométrica da Cabine**



**Fonte:** SolidWorks, 2025

O sistema é controlado por um ESP32 programado em C++ (Arduino IDE), responsável por coletar dados dos sensores e enviá-los em tempo real à plataforma web Recoll3D via Socket.IO. A interface do usuário inclui uma tela touchscreen de 7" com animações intuitivas, instruções de uso e atualização instantânea de pontos acumulados no perfil do usuário.

### 3.2 SISTEMA ELETRÔNICO

A lógica de controle foi programada diretamente no ESP32 utilizando Arduino IDE com C++, definindo: Leitura dos sensores e diferenciação de garrafas por compartimento; Envio de dados para a plataforma via *Socket.IO*; Ação dos servomotores para liberação dos brindes. A programação em C++ atribuiu ao Core 0 a leitura em tempo real dos sensores e controle dos motores, enquanto o Core 1

gerenciava a conexão *Wi-Fi* estável (protocolo TCP/IP com taxa de transmissão de 54 Mbps) e a sincronização de dados com a plataforma web via *Socket.IO*.

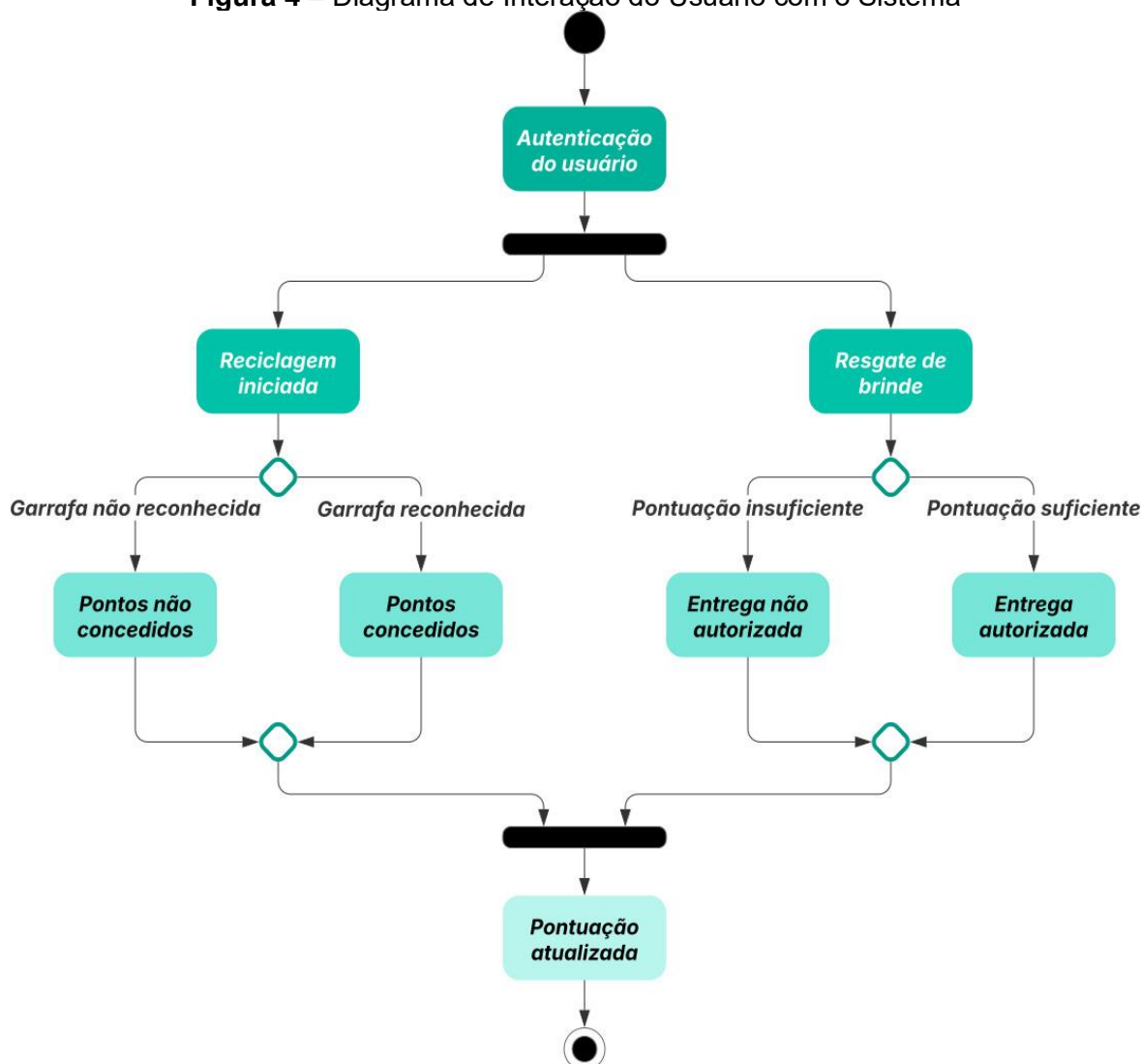
### 3.3 TECNOLOGIAS DA PLATAFORMA WEB

A aplicação *web* foi desenvolvida com foco em proporcionar uma experiência de usuário gamificada e interativa. O sistema é composto por quatro camadas principais:

- **Front-end:** desenvolvido com *React.js*, uma biblioteca *JavaScript* baseada em componentes, que permite a construção de interfaces dinâmicas e reativas. A estrutura modular facilita a manutenção e expansão do sistema.
- **Back-end:** implementado em *Node.js* com o *framework Express*, responsável pela lógica de negócio, rotas e integração com o banco de dados.
- **Comunicação em tempo real:** realizada por meio da biblioteca *Socket.IO*, que permite a atualização instantânea de dados entre a cabine física (ESP32) e a interface web, sem necessidade de requisições periódicas.
- **Banco de dados:** utilizado o *PostgreSQL* para armazenamento seguro e eficiente das informações dos usuários, pontuação, histórico de reciclagem, e rankings.

### 3.4 MODELAGEM DE ATIVIDADES DO SISTEMA

**Figura 4** – Diagrama de Interação do Usuário com o Sistema



Fonte: Whimsical, 2025

A Figura 4 apresenta o diagrama de atividade *Unified Modeling Language* (UML) referente ao fluxo de uso da cabine inteligente de reciclagem proposta neste trabalho. O objetivo do diagrama é representar, de forma visual e sequencial, as principais ações realizadas pelo usuário e pelo sistema, desde a autenticação até o recebimento de pontos ou resgate de brindes.

Este tipo de diagrama faz parte da modelagem comportamental da UML, sendo ideal para ilustrar fluxos de decisão, paralelismo e condições baseadas em eventos. Ele evidencia como o sistema reage a diferentes situações, como o reconhecimento ou não da garrafa e a suficiência de pontos para liberação de brindes.

#### 4. RESULTADOS PARCIAIS

Os resultados obtidos no desenvolvimento da cabine demonstram a viabilidade técnica e o potencial da proposta de integração entre automação, gamificação e sustentabilidade ambiental. A cabine atendeu às expectativas de funcionalidade, proporcionando um espaço adequado para a operação dos componentes eletrônicos, armazenamento das garrafas PET e uma estrutura robusta, assim como mostrado na Fig. 5:

**Figura 5 – Frente da Cabine**



**Fonte:** Oliveira, 2025

Na Figura 6, observa-se uma representação da parte interna da cabine, identificam-se os suportes destinados aos dispositivos eletrônicos, as passagens pelas quais as garrafas PET são inseridas, a área de armazenamento dessas garrafas e o local onde se aloja o hardware responsável pelo acesso à plataforma web.

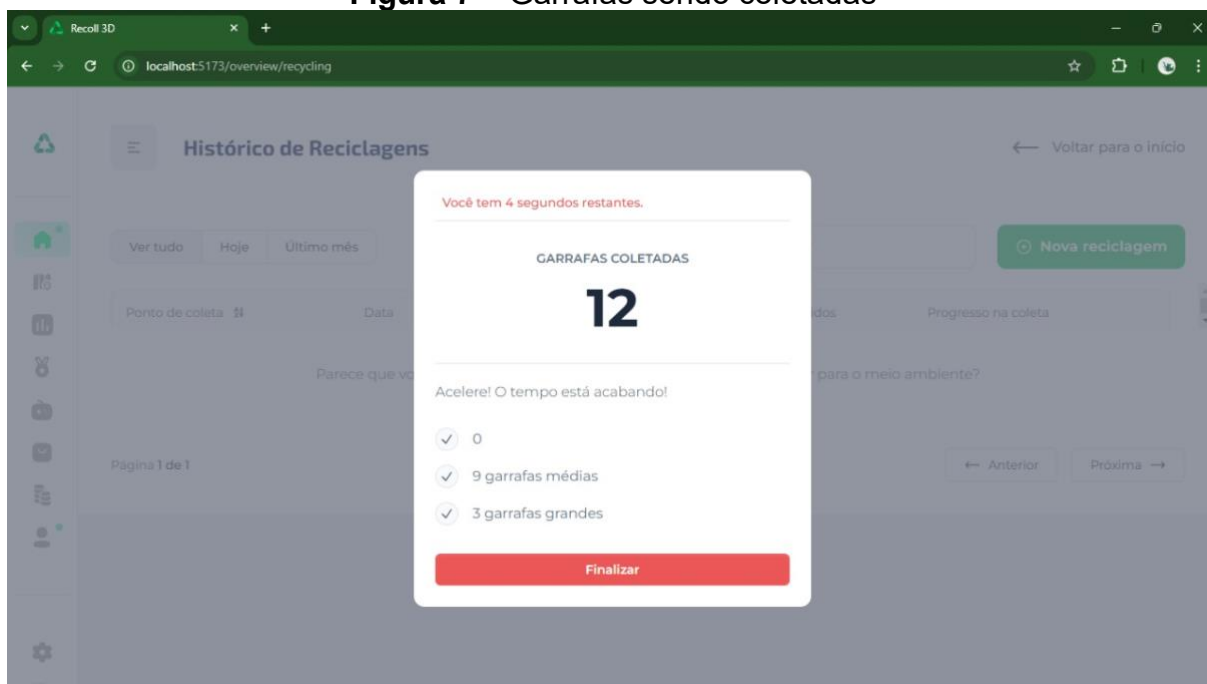


**Figura 6 – Interior da Cabine**

**Fonte:** Oliveira, 2025

Cada cabine é referenciada por um ID único associado ao hardware instalado. Essa identificação única permitiu ao sistema web demonstrar sucesso na detecção e classificação de garrafas, com os sensores E18-D80NK identificando corretamente mais de 95% das garrafas em testes simulados, porém com o uso do filtro de média móvel aplicado no sistema que obteve uma redução dos ruídos referente aos sensores. A integração via *Socket.IO* garantiu atualizações em tempo real, com latência média de 0,5 segundos entre a cabine e a interface, aprimorando a experiência do usuário.

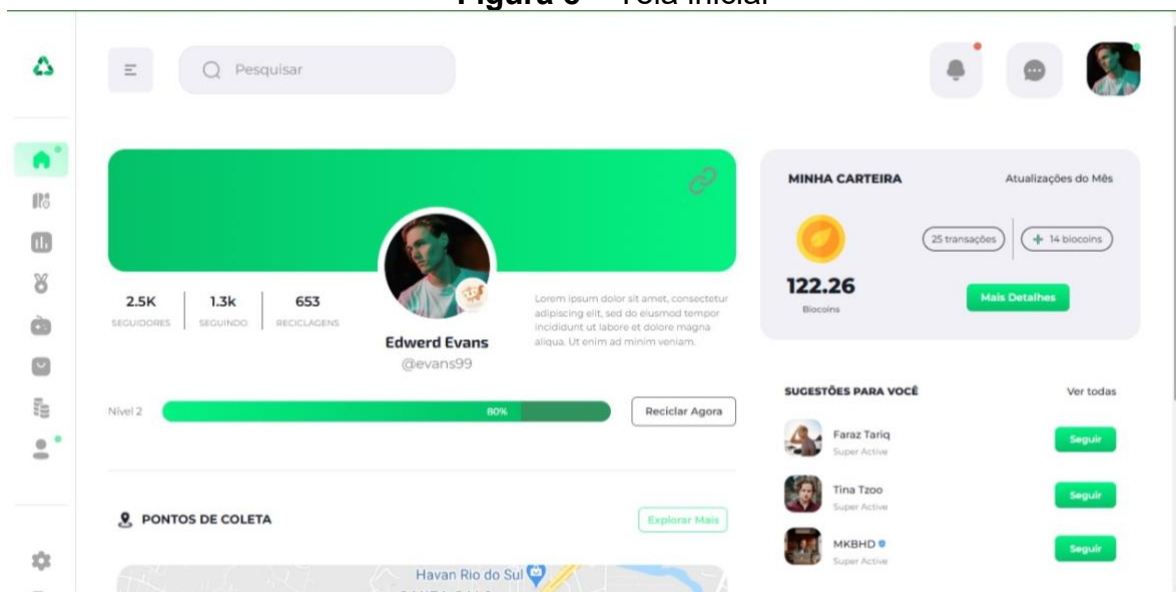
**Figura 7 – Garrafas sendo coletadas**



Fonte: S.Santos, 2025

A Figura 7 representa uma simulação de reciclagem, sendo possível verificar a soma de garrafas coletadas. Após a finalização da coleta, o site atualiza os pontos adquiridos, fazendo com que o usuário aumente os seus pontos e assim possa subir de nível. A Fig. 8 mostra a pontuação e suas “Biocoins” atualizadas na tela inicial do perfil do usuário. As Biocoins é moedas que dentro da plataforma poderá ser trocado por brindes.

**Figura 8 – Tela inicial**



Fonte: S.Santos, 2025

Contudo, os resultados parciais demonstraram-se satisfatórios, atendendo a necessidade da coleta seletiva e a implementação de uma interação gamificada com o usuário. Para uma melhor experiência com games, planeja-se implementar um sistema de recompensas físicas, no qual o usuário poderá trocar seus *Biocoins* acumulados por brindes sustentáveis, como chaveiros, *action figures* e brinquedos feitos com por impressão 3D utilizando o material pet reciclado, recebidos diretamente na cabine. Essa funcionalidade não apenas aumentará o engajamento, mas também fortalecerá o ciclo de economia circular, incentivando ainda mais a participação dos usuários no descarte consciente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] INSTITUTO CAMINHOS SUSTENTÁVEIS. **Anuário da Reciclagem**. Disponível em: <<https://www.anuariodareciclagem.eco.br/>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

[2] SERVIÇO DE LIMPEZA URBANA. **Relatório Anual 2024SLU**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.slu.df.gov.br/wp-content/uploads/2025/03/RELATORIO-DE-ATIVIDADES-SLU-2024.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2025.

[3] MARCON, C. A.; STEFANI, R. **COLETA CONTAINERIZADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM UMA CIDADE DO INTERIOR DO PARANÁ E SUAS IMPLICAÇÕES PARA O CUMPRIMENTO DA ODS 11: CONTAINERIZED COLLECTION OF SOLID RESULTS IN A INNER CITY OF PARANÁ AND ITS IMPLICATIONS FOR THE FULFILLMENT OF SDG 11**. MIX Sustentável, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 17–30, 2023. DOI: 10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n2.17-30. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/5263>. Acesso em: 21 abr. 2025.

[4] BERTICELLI, Ritielli; DECESARO, Andressa; PANDOLFO, Adalberto; PASQUALI, Pâmela Bia. **Contribuição da coleta seletiva para o desenvolvimento sustentável municipal**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 781–796, 2020. DOI: 10.17765/2176-9168.2020v13n2p781-796. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/6409>. Acesso em: 20 abr. 2025.

[5] HERCOG, D. et al. **Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices**. Sensors, v. 23, n. 15, p. 6739, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23156739> Acesso em: 21 abr. 2025.

[6] AHMED, A. S. et al. **Design and implement of robotic arm and control of moving via IoT with Arduino ESP32**. International Journal of Electrical and Computer Engineering, v. 11, n. 4, p. 3924-3933, 2021. Disponível em:

<https://ijece.iaescore.com/index.php/IJECE/article/view/24625> Acesso em: 21 abr. 2025.

[7] PETERS, A. et al. PI-toon: **A low-cost experimental platform for teaching and research on decentralized cooperative control**. *Sensors*, v. 21, n. 6, p. 2072, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21062072>. Acesso em: 21 abr. 2025.

[8] ALBIJA, A.; SELIGTEANU, D. **A Compact IIoT System for Remote Monitoring and Control of a Micro Hydropower Plant**. *Sensors*, v. 23, n. 4, p. 1784, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s23041784>. Acesso em: 21 abr. 2025.

[9] CARLOS-MANCILLA, M. A. et al. **Educational Mechatronics and Internet of Things: A Case Study on Dynamic Systems Using MEIoT Weather Station**. *Sensors*, v. 21, n. 1, p. 181, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s21010181>. Acesso em: 21 abr. 2025.

[10] MARQUES, G. et al. **Internet of Things and Enhanced Living Environments: Measuring and Mapping Air Quality Using Cyber-physical Systems and Mobile Computing Technologies**. *Sensors*, v. 20, n. 3, p. 720, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s20030720>. Acesso em: 21 abr. 2025.

[11] MORORÓ, Jadson Faustino. **Um estudo comparativo entre JavaScript e TypeScript**. 2024. 154 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Campus de Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2024.

[12] PONTE, Francisco Werley Gonçalves. **Supervisão de dados utilizando Node-Red, Node.js e ReactJS para adaptação de sistemas legados ao contexto da indústria 4.0**, 2022. TCC (Curso de graduação em Engenharia Elétrica) - Campus de Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2022.

[13] PEREIRA, Caio Ribeiro. **Node.js: Aplicações web real-time com Node.js**. São Paulo: Casa do Código, 2013. 143 p.

[14] PINHEIRO JUNIOR, Luiz Carlos. **Desenvolvimento de Back-end para jogos multijogadores com SOCKET.IO e NODE.JS**, 2014. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Tecnologia em Jogos Digitais) - Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2014