



ARTIGOS TECNOLÓGICOS

SENSORIAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS



INSTITUTO FEDERAL
Ceará

SENSORIAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Natan Vitorino de Oliveira, Vitor Lucas Lopes Alves Guimarães, Antônia Laureanne Oliveira Matos, Francisco Everton Silva Marinho, Maely Moreira Lopes, Michael Santos Duarte

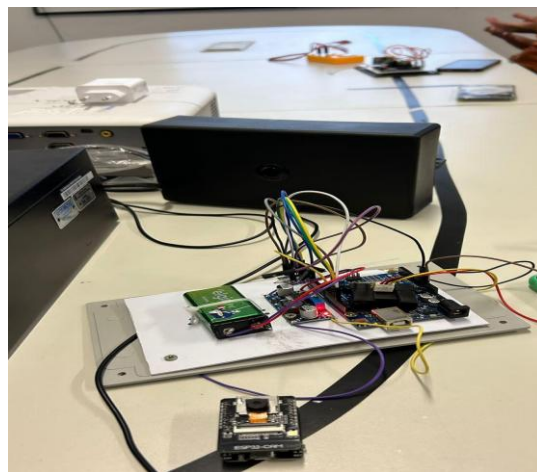
Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma solução tecnológica composta por *middleware* e *hardware* para o sensoriamento de resíduos industriais. A proposta visa integrar tecnologias digitais habilitadoras, como a Internet das Coisas (IOT), ao processo de gerenciamento de resíduos sólidos industriais, promovendo automação, eficiência operacional e sustentabilidade. O produto final configura-se como um sistema híbrido de *software* e *hardware* com foco no modelo de negócio orientado ao uso. A solução permite a coleta automatizada de dados, oferecendo novos *insights* para a tomada de decisão, e destaca-se pelo seu potencial inovador no contexto da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0. *IoT*; Sensoriamento; *Middleware*; Resíduos Industriais.

1. Introdução

O gerenciamento de resíduos industriais representa um desafio crescente, especialmente diante dos impactos ambientais e econômicos causados pelo descarte inadequado. O Brasil recicla apenas 3% dos resíduos gerados, embora pudesse economizar cerca de R\$ 8 bilhões por ano com reciclagem (MMA, 2024). Frente a este cenário, torna-se urgente o desenvolvimento de soluções tecnológicas para automatizar e otimizar a gestão de resíduos nas indústrias. Este artigo relata a criação de uma solução baseada em *middleware* e *hardware* que utiliza *IoT* para sensoramento de resíduos em tempo real.

Figura 1 – Primeiro *Hardware* da Solução Utilizando Um Arduíno Uno



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

2. Contexto do Problema

A indústria brasileira produz toneladas de resíduos anualmente, como papel, metais, escórias, entre outros, exigindo um sistema de gerenciamento eficaz. Atualmente, muitas empresas ainda utilizam modelos convencionais de fim-de-tubo (SIMIÃO, 2011), que não priorizam a prevenção ou reutilização. Além disso, as ferramentas digitais existentes para a gestão são onerosas e dependem de entrada manual de dados. Neste contexto, identificou-se a necessidade de uma solução automatizada e integrável que simplifique o monitoramento e a destinação de resíduos, alinhando-se aos princípios da economia circular.

3. Diagnóstico do Problema

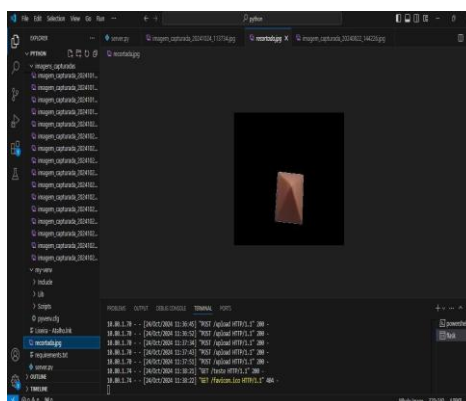
Uma análise *SWOT* revelou como principais fraquezas a baixa automação e a ausência de integração entre sensores e sistemas de gestão. Identificou-se uma oportunidade de mercado: soluções orientadas à Indústria 4.0 com foco em sensoramento e tomada de decisão baseada em dados. Verificou-se que, apesar do crescente interesse por soluções *IoT* na área ambiental

(ARAGÃO; OLIVEIRA, 2021), o uso dessas tecnologias ainda está em fase embrionária no setor de resíduos industriais.

4. Proposta de Solução do Problema

A proposta desenvolvida baseia-se na criação de uma *middleware open-source*, capaz de integrar sensores físicos a qualquer sistema de gerenciamento empresarial. Essa *middleware* utiliza protocolos padrão como JSON, REST e XML, promovendo compatibilidade com diversas linguagens e plataformas. O *hardware* associado é composto por módulos ESP32 conectados a sensores como câmeras e células de carga. Essa rede de dispositivos forma uma solução de *IoT* escalável, portátil e de fácil integração.

Figura 2 – Primeiro *Middleware* Utilizando Esp 32 Câmera Funcional



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

Figura 3 – Segundo *Hardware* da Solução Utilizando Esp 32 Câmera



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

5. Plano de Ações da Mudança

O projeto foi conduzido em três fases:

Especificação: análise de estado da arte, elaboração da documentação técnica, definição dos requisitos.

Prototipação: desenvolvimento de protótipos de baixa e alta fidelidade; testes com sensores e *middleware*.

Validação: implementação do Produto Mínimo Viável (MVP) em ambiente real; elaboração de documentação para incubação.

A metodologia *Kanban* foi adotada para organizar as entregas, promovendo ciclos curtos e *feedback* contínuo. Os custos principais envolveram aquisição de sensores, impressão 3D e infraestrutura de rede.

6. Conclusões e Contribuições

A solução proposta apresenta grande potencial para transformar o gerenciamento de resíduos industriais, oferecendo automação, integração digital e apoio à decisão. O sistema permite identificar tipos de resíduos, estimar quantidades e monitorar localizações em tempo real. Além disso, propõe-se como modelo de negócio baseado em serviço, em que as empresas pagam pelo uso, não pela posse do equipamento. Entre as principais contribuições destacam-se:

- Redução de perdas produtivas;
- Melhoria da sustentabilidade e conformidade ambiental;
- Viabilidade de novos empreendimentos com base tecnológica.

A tecnologia criada atua de forma eficaz na minimização de impactos, aumento da competitividade e incentivo à inovação no setor industrial.

Referências

ARAGÃO, W. R.; OLIVEIRA, A. I. **Internet das coisas na gestão de resíduos sólidos:** revisão sistemática com análise bibliométrica da literatura. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 6, n. 3, p. 194–209, 2021.

ESTADÃO. Brasil produz lixo como primeiro mundo mas faz descarte como nações pobres. 2024. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/sustentabilidade/ambiente-se/brasil-produz-lixo-como-primeiro-mundo-mas-faz-descarte-como-nacoes-pobres/>. Acesso em: mai. 2024.

MMA. Brasil pode economizar cerca de R\$ 8 bilhões por ano com reciclagem. 2024. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informma/item/6270>. Acesso em: mai. 2024.

SIMIÃO, J. *Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais em uma empresa de Usinagem sobre enfoque da produção mais limpa*. São Paulo, 2011.

SOUZA, W. S. et al. Aplicação do pensamento enxuto para auxílio da boa gestão de atividades pessoais: Uma adaptação do modelo Kanban. In: *Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe*, 2017.