

# SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA CONTROLE INTERNO DE AMBIENTES VIA MICROCONTROLADOR E SERVIÇO EM NUVEM

*Data de aceite: 01/08/2023*

### **Kaique Cesar Ventura Mendes**

IFSP – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo –  
Campus Cubatão

### **Danilo Santana Custódio Correia**

IFSP – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo –  
Campus Cubatão

### **João Paulo Lima de Sousa**

IFSP – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo –  
Campus Cubatão

### **Renan Paulo De Lima**

IFSP – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo –  
Campus Cubatão

### **Marcos Marinovic Doro**

IFSP – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo –  
Campus Cubatão

### **Ferdinando Calle**

IFSP – Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia de São Paulo –  
Campus Cubatão

mudanças decorrentes no clima, as pessoas estão utilizando sistemas de ar condicionado para obter um resfriamento confortável. Entretanto, o equipamento de ar-condicionado está no topo dos eletrodomésticos que mais consome energia mensalmente, chegando a um valor médio de 228,2 kWh. O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema para redução de gastos relacionados ao consumo de energia ocasionados pelo mau uso dos equipamentos de ar-condicionado. O sistema foi desenvolvido a partir de um microcontrolador conectado a sensores, para o monitoramento de pessoas no ambiente interno e abertura de janelas, e um sensor de corrente elétrica, para controle do consumo de energia. Um ambiente em nuvem foi criado para o armazenamento de dados e controle remoto. Os resultados obtidos demonstraram que o sistema desenvolvido reduziu os gastos relacionados à refrigeração e se mostrou um produto promissor para o mercado de tecnologia e automação residencial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Microcontrolador; Internet das Coisas; Domótica; Baixo Custo

**RESUMO:** Atualmente, devido às

## 1 | INTRODUÇÃO

Na atualidade, a eletricidade é reconhecida pelas pessoas como um recurso central em suas vidas, pois é responsável pelo suprimento de energia das mais diversas necessidades quotidianas, como mobilidade, cozimento, iluminação, aquecimento e arrefecimento. O padrão de vida das pessoas tem aumentado no decorrer dos anos e proporcionalmente a isto, tem aumentado o número de eletrodomésticos em utilização nos lares dos consumidores. Conseqüentemente, a demanda de energia necessária para alimentar esses eletrodomésticos também tem aumentado.

No Brasil, a eletricidade ocupa a segunda fonte de energia mais utilizada, ficando atrás apenas do petróleo e seus derivados. No ano de 2019, o consumo de energia elétrica foi de 141.929 GWh, o que representou um acréscimo 69.7% em relação ao ano de 2000 e correspondeu a 29,4% do total consumido (ABRAHÃO; SOUZA 2021). Além do preço pago por Kw/h no consumo de energia elétrica, o consumidor também arca com os custos das bandeiras tarifárias, cujo valor é determinado de acordo com as informações prestadas pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) e pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). A bandeira tarifária vermelha é utilizada em períodos mais quentes e de maior consumo de energia, nos quais há um aumento do uso de equipamentos climáticos na busca de um melhor conforto térmico. Os sistemas de refrigeração em geral são responsáveis por cerca de um terço de toda a energia produzida (IEA, 2021), sendo que esse consumo de energia se agrava com a utilização indevida desses equipamentos, como por exemplo, quando os mesmos são utilizados por longos períodos sem a presença de pessoas no ambiente.

Além dos altos custos, o aumento no consumo de energia elétrica também tem impactos negativos sobre o meio ambiente decorrentes da geração de energia e da grande emissão de gases, sendo esta uma das grandes preocupações mundiais da atualidade.

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um sistema de economia de energia com o intuito de diminuir o consumo desnecessário do uso de equipamentos de ar-condicionado, com análise em tempo real do consumo de energia e da presença de pessoas em um ambiente interno residencial.

## 2 | METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto, desenvolveu-se uma maquete de um cômodo residencial contendo duas janelas e uma porta (Figura 1). A partir dessa maquete foi possível executar e validar o projeto mecânico e elétrico do sistema. Utilizou-se bonecos e fotografias de diferentes objetos para treinar o software de Inteligência Artificial e permitir a análise do fluxo de passagem da porta da maquete. Após a validação do projeto, foi criado um dashboard em um serviço em nuvem, por meio do site Thingspeak, para estruturar e disponibilizar os dados remotamente para o usuário.

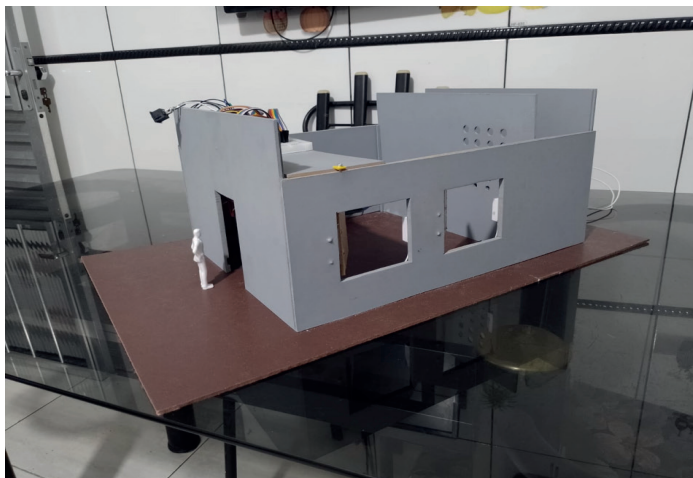


Figura 1: maquete de um cômodo residencial usado para validação do protótipo do sistema

## 2.1 Projeto Elétrico

O projeto elétrico desenvolvido utilizou uma placa microcontroladora ESP32-CAM, que é um módulo de câmera baseado no chip ESP32, que combina conectividade Wi-Fi e Bluetooth com recursos de captura de imagem. Integrou-se a placa ESP32-CAM dois módulos sensores IR (infravermelho) Vishay TSSP40, um sensor magnético MC-38A, um módulo relé, e um módulo de sensor de corrente 30ACS712. A placa microcontroladora recebeu os dados enviados pelos sensores e baseado no código escrito em seu firmware e aciona ou não o módulo relé.

A câmera de vídeo e sensores IR têm a função de detectar a presença de pessoas no ambiente, estando posicionados na porta de entrada. O sensor magnético está localizado na janela, onde o aparelho de ar-condicionado está posicionado, sua função é detectar se a janela está aberta ou fechada. O sensor de corrente possui a função de monitorar o consumo acumulado de energia elétrica. Por fim, o módulo relé, posicionado próximo ao microcontrolador, tem a função de fornecer energia para o aparelho de ar-condicionado.

Na figura 2 observa-se que o fluxo dos dados inicialmente provém dos sensores e se encaminha para o microcontrolador, que baseado na sua lógica de programação, envia um sinal para o módulo relé que controla a passagem da corrente elétrica para o aparelho ar-condicionado. A partir do recurso Wi-Fi, todas as informações são disponibilizadas na nuvem para o monitoramento e controle remoto.

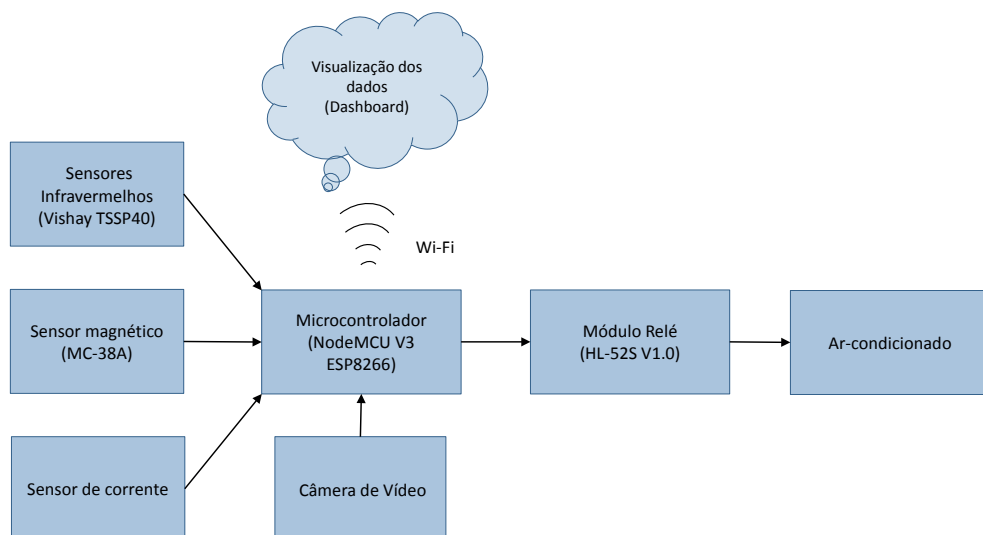


Figura 2: Diagrama de blocos e fluxo de dados

Os componentes utilizados na construção do protótipo e seu custo total estão descritos na tabela 1. Vale ressaltar que todos os componentes apresentados podem ser substituídos por um hardware de qualidade superior, o que implica em um custo de projeto maior, mas que garantem o aumento da precisão e da qualidade do processo fornecido.

Item	Descrição	Quant.	Valor
NodeMCU V3 ESP8266	Placa microcontroladora ESP32-CAM com câmera OV2640 integrada. Possui uma matriz de pixels capaz de capturar imagens com uma resolução de até 1600x1200 pixels (2 megapixels). Suporta diferentes modos de captura, incluindo imagens estáticas e streaming de vídeo em tempo real. Possui uma antena Wi-Fi embutida, permitindo a transmissão das imagens capturadas por meio de uma rede sem fio.	1	R\$32,69
Sensor Vishay TSSP40	Detetores infravermelhos compactos para uso em sensores reflexivos, barreira de luz e aplicações de detecção rápida de proximidade. Permitem a detecção de presença de até 2m.	2	R\$200,02
Sensor Magnético MC-38	Sensor magnético de proximidade MC38 para detectar a presença ou ausência de objetos magnéticos em sua proximidade. Possui um contato elétrico que é normalmente aberto (NO).	1	R\$22,16
Sensor de Corrente	Sensor de efeito hall para detectar o campo magnético gerado pela passagem de corrente, gerando na saída do módulo uma tensão proporcional de 66mV/A. Capaz de medir correntes entre -30 e +30A.	1	R\$23,37
Módulo Relé HL-52S V1.0	O módulo com dois canais, permitindo o controle de até 2 relés capazes de suportar cargas nominais de 10A/250VAC, 10A/125VAC e 10A/30VDC.	1	R\$20,78

Fonte de alimentação 5V	Fonte eletrônica para alimentar sistemas de 5V	1	R\$24,58
<b>Total</b>			<b>R\$ 323,60</b>

## 2.2 Projeto mecânico

A placa microcontrolada com os sensores deve ser instalada diretamente no batente da porta, como demonstrado na figura 3. Esta placa é conectada diretamente ao sistema de refrigeração por meio dos próprios condutores residenciais e aos sensores presentes no sistema.

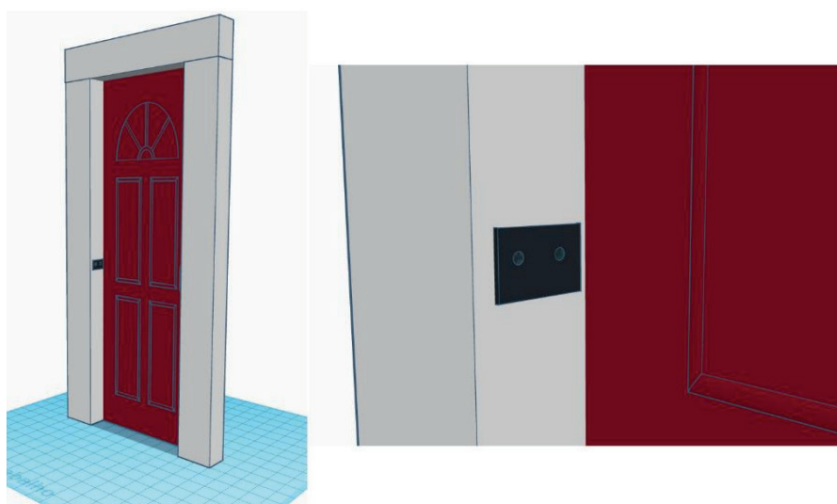


Figura 3: Visualização da instalação no batente de porta

Os sensores infravermelhos e a câmera instalados no batente da porta são responsáveis pela identificação e contagem da entrada e saída de pessoas no ambiente. A câmera está conectada ao microcontrolador, com o código de inteligência artificial embarcado nele.

## 2.3 Inteligência Artificial (IA)

Para o desenvolvimento do algoritmo em Inteligência Artificial para reconhecimento de pessoas utilizou-se os recursos do site Edge Impulse, o qual consiste em uma plataforma de desenvolvimento de Machine Learning (ML) e Inteligência Artificial (IA) projetada para simplificar a criação, treinamento e implantação de modelos de aprendizado de máquina em dispositivos de borda (edge devices), como microcontroladores e sistemas embarcados.

Ela permite que desenvolvedores e engenheiros criem soluções inteligentes para objetos conectados e Internet das Coisas (IoT) de forma eficiente. A plataforma Edge Impulse oferece um fluxo de trabalho completo, abrangendo desde a aquisição de dados até a implantação do modelo final.

A plataforma permite a captura de dados provenientes de sensores em dispositivos de borda. Esses dados podem ser sinais de áudio, leituras de sensores, imagens ou outros tipos de entrada relevantes para o projeto. Os dados coletados podem ser rotulados e anotados para identificar as classes ou características que o modelo de aprendizado de máquina deve aprender.

Após o treinamento, é importante validar o desempenho do modelo para garantir que ele esteja funcionando corretamente. A plataforma fornece ferramentas para avaliar métricas de desempenho, otimizar hiper parâmetros e ajustar o modelo, se necessário. Uma vez que o modelo está pronto, a plataforma Edge Impulse oferece suporte à implantação direta em dispositivos de borda. Isso permite que o modelo seja executado localmente, sem a necessidade de uma conexão com a nuvem, proporcionando inferência em tempo real.

A fim de avaliar sua capacidade de identificação, foram realizadas 172 fotografias de bonecos teste representando pessoas a partir de diferentes ângulos. Além disso, também foram capturadas imagens de diversos objetos que não se assemelhavam aos bonecos teste. Essas fotografias foram então inseridas em um banco de dados alimentado na plataforma Edge Impulse (Figura 4).

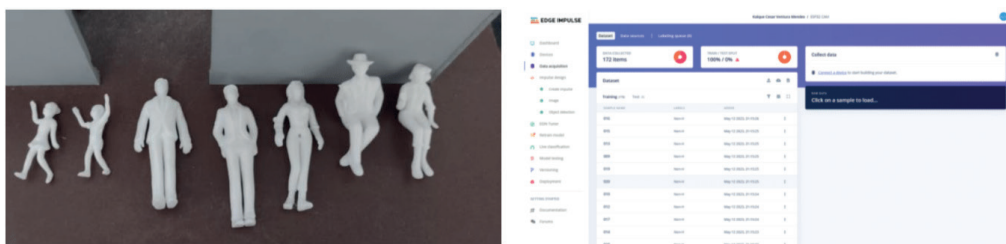


Figura 4: Bonecos teste representando pessoas e inserção de imagens para aprendizado da IA.

A análise desse banco de dados permitiu verificar a capacidade do projeto de identificar corretamente se um objeto era o boneco representando uma pessoa ou não, quando este era apresentado à entrada da maquete. Esse processo possibilitou aprimorar a capacidade de reconhecimento do sistema e assegurou a qualidade do projeto, gerando uma porcentagem de acerto de 95,8% de identificação do objeto.

## 2.4 Dashboard

A ferramenta utilizada para obter os dashboards dos sinais do sistema é o site

ThingSpeak, onde é possível gratuitamente realizar a execução dos dashboards dos parâmetros medidos no sistema. A escolha do ThingSpeak se deu pela facilidade de uso e praticidade no desenvolvimento de aplicações que geram grandes volumes de dados. Desta forma, foi utilizada esta plataforma para fazer a troca de dados remotamente entre os dispositivos ligados à rede e um dispositivo complexo como um computador ou smartphone.

Para realizar um processo, basta criar um “Novo canal” e preencher os dados como: nome e descrição dos parâmetros de leitura. Em seguida, este será redirecionado para a página da web, o que chamamos de dashboard, onde é possível, por exemplo, visualizar a atualização dos dados coletados pelo sensor de corrente (Figura 5).

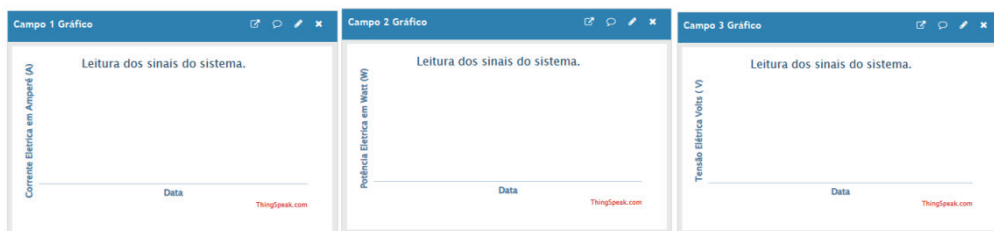


Figura 5: *Dashboard* criado a partir do site Thingspeak com informações do sensor de corrente

## RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho realizado demonstrou um grande potencial da integração entre IA, sensores e microcontroladores. A partir da maquete e do protótipo do sistema desenvolvido, verificou-se que é possível criar um produto de baixo custo, capaz de monitorar e controlar o desperdício de energia durante a utilização de aparelhos de ar-condicionado em ambientes residenciais.

Ao analisar a funcionalidade de cada componente, constatou-se que a escolha inicial do microcontrolador prejudicou a integração dos sensores devido ao pequeno número de entradas disponíveis.

Ao concluir a criação da IA, percebeu-se que, com um código mais complexo e uma capacidade de processamento maior, seria possível desenvolver o sistema sem a necessidade dos sensores físicos na porta. Esses sensores eram responsáveis por detectar a entrada e saída de pessoas no ambiente. Através da utilização de uma câmera de maior qualidade, capaz de capturar imagens com melhor resolução e até mesmo permitir visão noturna, seria possível delimitar zonas específicas dentro do campo de visão da câmera para identificar as linhas de entrada e saída. A própria IA seria capaz de analisar essas imagens e identificar o movimento, detectando a entrada de pessoas ou objetos, inclusive sendo capaz de lidar com múltiplas entradas simultâneas.

Essa abordagem eliminaria a necessidade dos sensores físicos e permitiria uma

implementação mais flexível e sofisticada do sistema. No entanto, vale ressaltar que seria necessário um código mais complexo e uma memória de processamento maior para realizar a análise das imagens em tempo real. Além disso, a escolha de uma câmera adequada, com recursos avançados, seria fundamental para garantir a precisão e eficiência na detecção de movimento. Essa observação nos leva a refletir sobre as possibilidades de aprimoramento futuro do projeto, visando a criação de um sistema mais autônomo e inteligente.

Ao término do projeto, ficou evidente a importância de avaliar cuidadosamente as opções de hardware e explorar o potencial da IA e de outras tecnologias emergentes.

## REFERÊNCIAS

ABDALGADER, Khaled; AL AJMI, Rahma; SAINI, Dinesh Kumar. IoT-based system to measure thermal insulation efficiency. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 14, n. 5, p. 5265-5278, 2023.

ABRAHÃO, Karla Cristina de Freitas Jorge; SOUZA, Roberta Gonçalves Vieira de. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, v. 21, p. 383-408, 2021.

BALITSKIY, Sergey et al. Energy efficiency and natural gas consumption in the context of economic development in the European Union. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 55, p. 156-168, 2016.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Energia e sociedade. **Estudos avançados**, v. 28, p. 25-39, 2014.

HYMEL, Shawn et al. Edge Impulse: An MLOps Platform for Tiny Machine Learning. **arXiv preprint arXiv:2212.03332**, 2022.

IMMONEN, Riku et al. Tiny machine learning for resource-constrained microcontrollers. **Journal of Sensors**, v. 2022, 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy and climate change: world energy outlook special report**. International Energy Agency, 2021.

PROCEL, INFO. "Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética, 2006." (2006).

ROCHA, Aluizio et al. Evaluating thingspeak as an IoT event platform on building a smart parking application. In: **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva**. SBC, 2019.