

Otimização da Impressão 3D tipo FDM através do monitoramento IoT

Thiago de Sena¹, Fábio Timbó Brito²

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Maracanaú
Departamento da Indústria –Maracanaú – CE – Brazil

thiago.sena.lima07@aluno.ifce.edu.br, fabio@ifce.edu.br

Abstract. *3D printing is a widely used technology in digital manufacturing, however, unexpected interruptions, such as filament breakage, can compromise the printing quality and waste time and resources. This paper presents the development of an automated system for filament breakage detection in 3D printers, using an infrared sensor and an ESP32 microcontroller. This sensor tracks the rotation of the spool by detecting color variation between the black of the spool and the white stickers. If the system detects the absence of this variation within a programmed time interval, it triggers an alert via WhatsApp message to the user and automatically shuts down the printer using a relay. This approach contributes to the automation and efficiency of the 3D printing process, preventing waste and optimizing the power consumption.*

Resumo. *A impressão 3D é uma tecnologia amplamente utilizada na fabricação digital, mas interrupções inesperadas, como a quebra do filamento, podem comprometer a qualidade da peça e desperdiçar tempo e recursos. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema automatizado para detecção de quebra de filamento em impressoras 3D, utilizando um sensor infravermelho e um microcontrolador ESP32. Este sensor monitora a rotação do rolo de filamento por meio da variação de cores entre o preto do rolo e os adesivos brancos. Caso o sistema detecte a ausência dessa variação dentro de um intervalo de tempo programado, ele aciona um alerta via mensagem pelo WhatsApp para o usuário e desliga automaticamente a impressora por meio de um relé. Essa abordagem contribui para a automação e eficiência do processo de impressão 3D, evitando desperdícios e otimizando o uso de energia.*

1. Introdução

A manufatura aditiva, conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia revolucionária que viabiliza a produção de objetos tridimensionais a partir de modelos digitais. Sua aplicação tem se difundido em diversas áreas, incluindo educação, indústria e medicina. De acordo com Santos e Andrade (2020), essa técnica permite a criação de peças com geometrias variadas, tornando possível a materialização de ideias mesmo para aqueles com conhecimento técnico limitado. Além de tornar o desenvolvimento de protótipos mais acessível e personalizado, a impressão 3D estimula o movimento *maker* e favorece a resolução de desafios práticos. No contexto educacional, essa abordagem facilita a aprendizagem ativa, incentivando a criatividade e o desenvolvimento de habilidades técnicas.

A impressão 3D baseada na tecnologia *Fused Deposition Modeling* (FDM) consiste em um processo de manufatura aditiva em que um filamento termoplástico é

aquecido e extrusado camada por camada para formar um objeto tridimensional. Essa técnica se destaca pela acessibilidade e versatilidade, sendo amplamente utilizada tanto por entusiastas quanto por aplicações industriais e acadêmicas. A escolha do filamento adequado é fundamental para a qualidade e resistência das peças produzidas, sendo os termoplásticos os materiais mais utilizados nesse processo.

Dentre os diversos tipos de filamentos disponíveis, o ácido polilático (PLA) é um dos mais populares na impressão FDM devido à sua facilidade de uso e baixa temperatura de fusão (Shukri et al. 2025). Produzido a partir de fontes renováveis, como amido de milho e cana-de-açúcar, o PLA se destaca por ser biodegradável e menos agressivo ao meio ambiente em comparação a outros polímeros. No entanto, esse material possui limitações, como sensibilidade à umidade e baixa resistência térmica e mecânica, tornando-se inadequado para aplicações que exijam alta durabilidade ou temperaturas superiores a 60°C.

Outra alternativa amplamente utilizada é o acrilonitrila butadieno estireno (ABS). De acordo com o ABS é um material amplamente utilizado na impressão 3D por FDM devido às suas boas propriedades mecânicas e térmicas. No entanto, sua impressão requer temperaturas elevadas e pode liberar vapores durante o processo, o que exige um ambiente bem ventilado.

Apesar dos avanços na tecnologia de impressão 3D, falhas durante o processo ainda são um problema recorrente, resultando em desperdício de material, consumo desnecessário de energia e danos à impressora. Destaca-se que algumas impressoras já possuem sistemas próprios para detecção de falta de filamento decorrente do uso completo do rolo. Porém, devido a presença de fatores externos como a umidade em filamentos de PLA, o filamento pode quebrar em diversos pontos entre o trajeto da saída do rolo até a extrusora onde é aquecido para formar a peça 3D.

Desta forma, fica difícil a detecção de falhas, uma vez que existem diversos pontos onde o filamento pode quebrar. Este fato torna a quebra do filamento uma das falhas mais críticas durante o processo de impressão 3D em impressoras do tipo FDM, podendo interromper a impressão sem que o usuário perceba, comprometendo a fabricação da peça final e prolongando o tempo de produção tendo em vista a substituição do trecho danificado do filamento.

Neste contexto, esta pesquisa apresenta o desenvolvimento de um sistema de monitoramento para detectar a quebra do filamento via IoT, tomando ações corretivas para evitar perda de tempo ou desperdício de material.

2. Materiais e Métodos

Componentes eletrônicos de baixo custo foram usados para o desenvolvimento do sistema de monitoramento de falhas na impressão 3D desta pesquisa. Entre eles: um sensor infravermelho para detectar a rotação do rolo de filamento; um módulo relé para desligar a alimentação da impressora; um microcontrolador ESP32 (Espressif Systems 2025), responsáveis pela detecção e envio automático de mensagem via aplicativo *Whatsapp* (*Whatsapp* 2025) em caso de quebra do filamento. Nesta seção, são descritos os principais materiais empregados e o método utilizado para a implementação do sistema.

2.1 Ligação Física

A Figura 01 apresenta a ligação elétrica dos componentes do sistema de detecção de quebra de filamento.

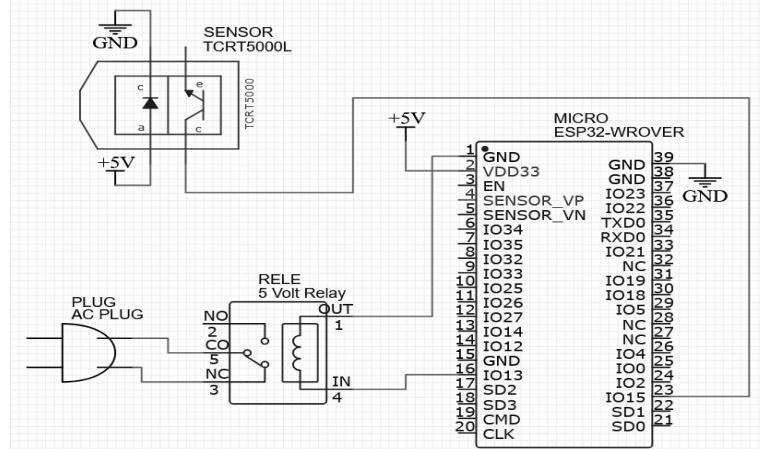


Figura 1. Ligação física. Fonte: Autoria Própria

2.1.1 Microcontrolador ESP32

O ESP32 é um microcontrolador de baixo custo e consumo reduzido de energia, desenvolvido pela Espressif Systems. Conta com um processador Tensilica Xtensa LX6 dual-core, conectividade Wi-Fi e Bluetooth integrada, além de suporte a múltiplos periféricos. Sua eficiência energética e versatilidade o tornam ideal para aplicações em automação e Internet das Coisas (IoT). A Figura 2 mostra a placa utilizada neste projeto.

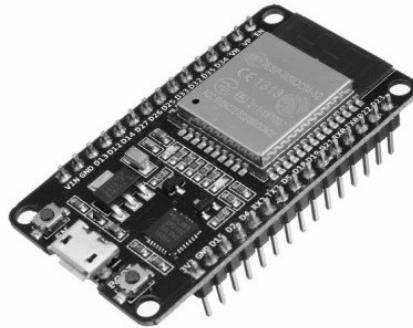


Figura 2. Microcontrolador ESP32 Fonte: Autoria Própria

Neste sistema, o ESP32 atua como a unidade central de controle, sendo responsável por processar os dados do sensor infravermelho TCRT5000 e tomar decisões com base nas leituras obtidas. Ele também é encarregado de se comunicar com o serviço de envio de mensagens e de acionar o módulo relé, conforme descrito na metodologia da seção 2.3.

2.1.2 Sensor Infravermelho TCRT5000

O sensor infravermelho TCRT5000 é um dispositivo que funciona emitindo luz infravermelha e detectando a intensidade do reflexo dessa luz em uma superfície (semiconductors 2025). A Figura 3 mostra um módulo eletrônico que produz uma saída analógica de 0 a 5V e uma digital de acordo com a leitura do sensor TCRT5000.

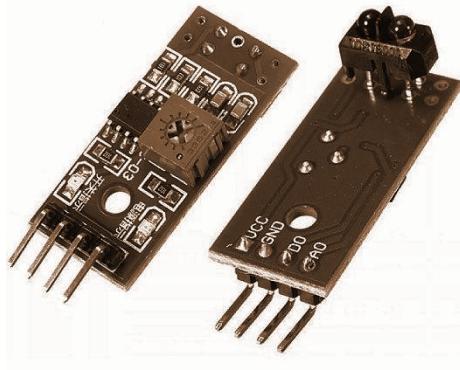


Figura 3. Sensor Infravermelho TCRT5000. Fonte: Autoria Própria

Este sensor é possui um led infravermelho e um fototransistor, encapsulados em uma estrutura que bloqueia a luz visível, garantindo uma leitura precisa da luz refletida. Esse tipo de sensor é amplamente utilizado em aplicações como detecção de movimento, medição de proximidade e sistemas de robôs seguidores de linha, onde identifica a transição entre diferentes cores e padrões.

Neste artigo, o TCRT5000 foi empregado para monitorar a frequência de rotação do rolo de filamento da impressora 3D. O sensor foi posicionado de forma a captar a variação de cores entre a superfície preta do tubo do filamento e adesivos brancos. Ou seja, quando a impressão ocorre normalmente, a rotação do rolo gera uma variação contínua entre as cores preta e branca, indicando que o filamento está sendo consumido e extrusado corretamente pela impressora. Porém, caso o sensor deixe de detectar esta frequência, o sistema interpreta essa condição como uma possível quebra do filamento ou falha da impressão, iniciando uma rotina programada para alerta e desligamento automático da impressora.

2.1.3 Módulo Relé

O módulo relé é um componente eletrônico utilizado para controlar dispositivos de maior potência por meio de sinais de baixa tensão, como os emitidos por microcontroladores (Makerhero 2025). Ele funciona como um interruptor eletromecânico que permite ao sistema acionar ou interromper circuitos elétricos de forma segura e automatizada.

No projeto apresentado, o relé é responsável por desligar a impressora 3D quando o sistema identifica falhas na alimentação do filamento. Seu acionamento pelo ESP32 com base nas condições estabelecidas na lógica de monitoramento, conforme descrito na subseção de metodologia. A Figura 4 ilustra o módulo utilizado.



Figura 4. Módulo Relé. Fonte: Autoria Própria

2.2 Sistema de Alerta e Notificação ao Usuário

O sistema desenvolvido permite que o usuário receba notificações em tempo real sobre falhas na alimentação de filamento, utilizando o aplicativo WhatsApp como canal de comunicação. Essa funcionalidade é implementada por meio do microcontrolador ESP32, que acessa a API do serviço CallMeBot para enviar mensagens automaticamente, sem necessidade de interação manual. O número do destinatário e o conteúdo da mensagem são transmitidos ao serviço via requisições HTTP, tornando a solução prática, acessível e de fácil replicação.

O funcionamento detalhado do envio dessas mensagens e a lógica de acionamento estão descritos na metodologia (seção 2.3), onde é apresentado o fluxo completo de operação.

2.3 Métodos

O sistema de monitoramento foi implementado com base em um fluxo automatizado de detecção e resposta, conforme ilustrado na Figura 5. A operação segue as seguintes etapas:

1. O sensor infravermelho TCRT5000 monitora continuamente a rotação do rolo de filamento, identificando a alternância entre as cores preta e branca da superfície.
2. O microcontrolador ESP32 analisa as variações detectadas e verifica se há movimento regular do filamento.
3. Caso não sejam detectadas variações durante um intervalo de 5 minutos, o sistema interpreta essa ausência como uma possível falha e envia um alerta via WhatsApp ao usuário.
4. Se a ausência de movimento persistir por mais 5 minutos, um segundo aviso é enviado.
5. Após 15 minutos totais sem movimentação detectada, uma última notificação é enviada informando o desligamento da impressora por precaução.

6. O ESP32, então, aciona o módulo relé para interromper a alimentação elétrica da impressora 3D, evitando desperdício de material, consumo desnecessário de energia e falhas prolongadas.

Essa abordagem oferece uma forma eficiente e autônoma de detectar falhas no fornecimento de filamento, garantindo maior segurança operacional. O fluxo completo da aplicação é apresentado na Figura 5.

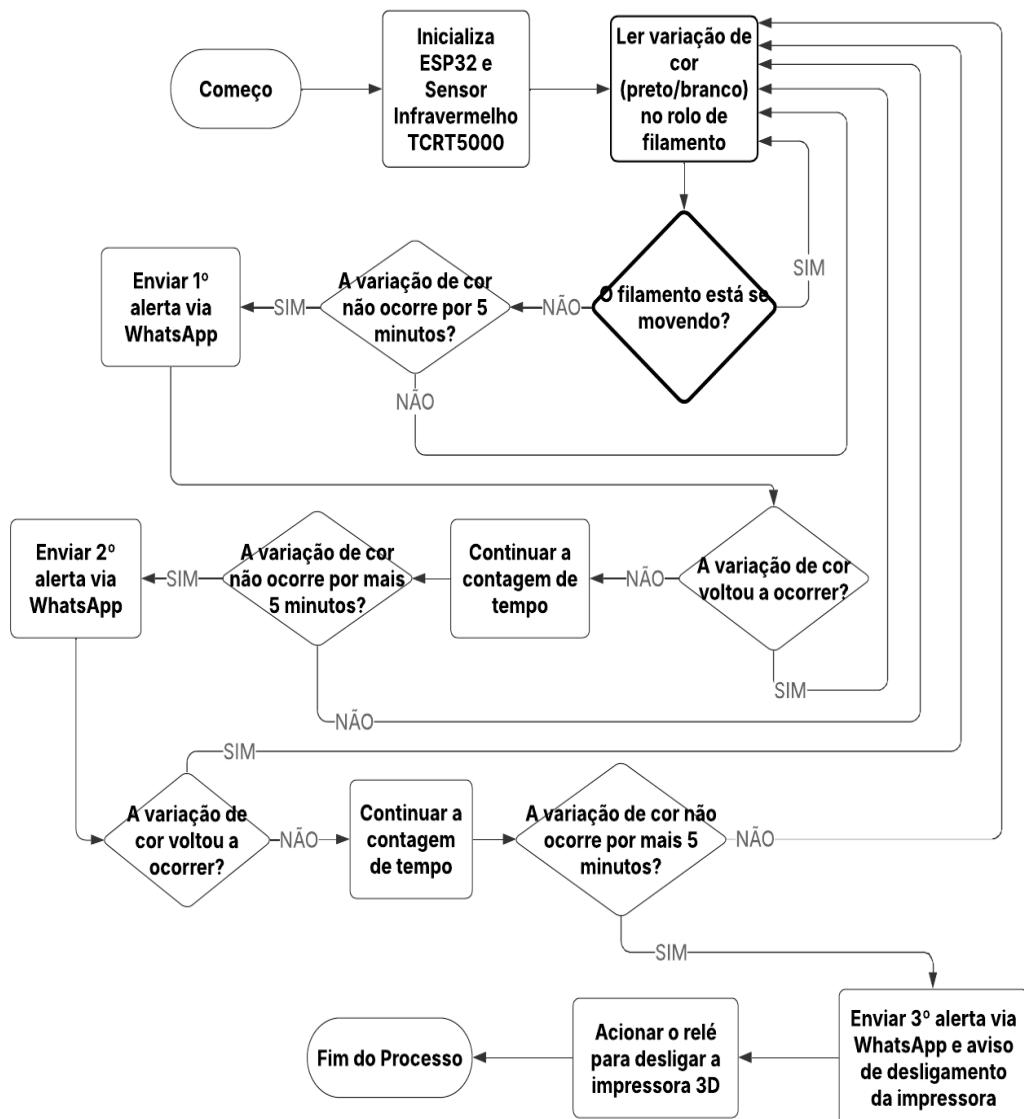


Figura 5. Fluxograma da aplicação Fonte: Autoria Própria

3. Resultados e Discussões

Com o objetivo de tornar o projeto mais organizado e seguro, foi modelada e impressa em 3D uma capa de proteção (case) para acomodar o conjunto do circuito do sensor infravermelho, o ESP32 e o módulo relé, conforme mostrado na Figura 6.

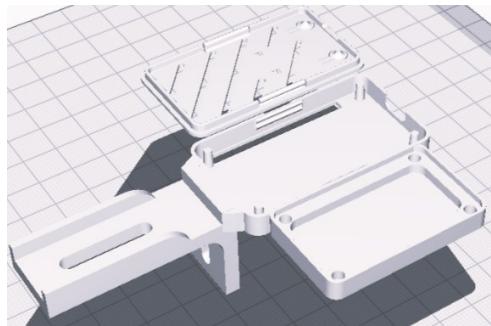


Figura 6. Capa de proteção para o circuito. Fonte: Autoria Própria

O circuito elétrico foi montado fisicamente conforme ilustrado na Figura 7. O protótipo final encontra-se dentro do retângulo preto, que destaca sua localização e fixação na estrutura da impressora 3D. No canto superior direito da figura, há uma imagem ampliada que mostra em detalhe o suporte impresso em 3D que abriga o sensor infravermelho TCRT5000, o ESP32 e o módulo relé, todos alimentados por uma fonte de 5V. Já no círculo preto, localizado na parte superior esquerda da figura, é possível observar um dos adesivos brancos aplicados no rolo de filamento, que permite ao sensor captar a variação de cor necessária para detectar o movimento do filamento.

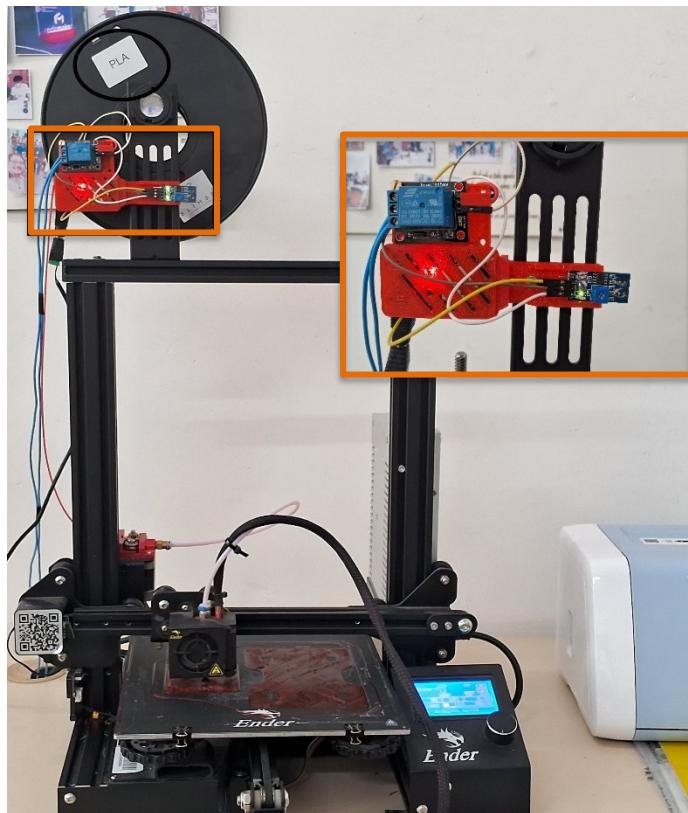


Figura 7. Detalhe do protótipo e montagem na impressora. Fonte: Autoria Própria

Para avaliar o funcionamento do sistema de monitoramento de filamento, foi realizado um teste prático durante a impressão de uma peça, conforme Figura 7, com tempo estimado de 1 hora e 53 minutos. O teste ocorreu no laboratório *Maker* do Instituto

Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - Campus Maracanaú, onde o sistema foi ativado antes do início da impressão e monitorou a movimentação do tubo de filamento enquanto o usuário não estava presente.

Durante o processo, a impressão transcorreu normalmente, sem interrupções no fornecimento de filamento. No entanto, ao final da impressão, quando não havia mais variação de cores detectada pelo sensor (indicando a ausência de movimento do filamento), o sistema enviou automaticamente alertas via *WhatsApp* para o usuário e para o professor responsável pelo laboratório. As mensagens continham a notificação da possível parada do filamento, seguidas de um alerta final informando o desligamento da impressora para evitar desperdício de material.

A Figura 8 mostra os registros desses alertas, incluindo os horários exatos em que foram enviados. Observa-se que o sistema identificou corretamente a ausência de movimento do filamento ao término da impressão, evidenciando a eficácia do monitoramento.

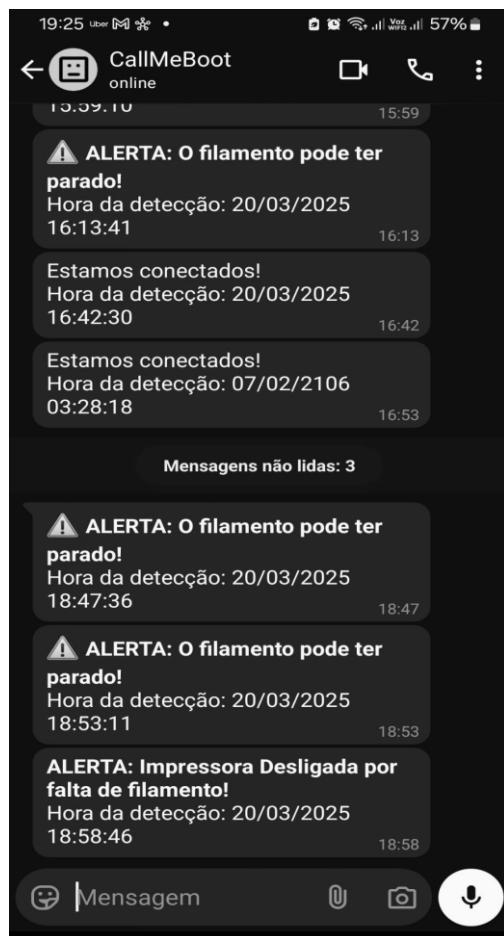


Figura 8. Mensagem Recebida Via WhatsApp Fonte: Autoria Própria

Além do experimento pontual, o sistema foi utilizado continuamente por dois meses, monitorando mais de 20 impressões. Em todas as situações de rompimento do

filamento ou conclusão da impressão, o sistema detectou corretamente a ausência de movimento e desligou a impressora, atingindo 100% de taxa de acerto. O tempo médio de resposta entre a detecção da falha e o desligamento foi de 15 minutos, conforme o algoritmo configurado com três alertas enviados a cada 5 minutos.

Houve casos pontuais de falsos positivos, principalmente em impressões com 100% de preenchimento, que prolongavam o intervalo entre variações detectadas. Nessas situações, alertas incorretos foram enviados via WhatsApp, mas não ocorreram desligamentos indevidos, pois o sistema reinicia a contagem sempre que uma nova variação é registrada, impedindo o acúmulo dos três alertas sequenciais.

Essa lógica de tolerância ativa demonstrou ser eficaz para evitar desligamentos injustificados, permitindo que a impressora opere de forma segura e autônoma, inclusive durante a noite, sem necessidade de supervisão constante, o que aumenta a produtividade e confiabilidade do processo.

Durante o uso contínuo, identificou-se uma limitação da API gratuita do CallMeBot, que restringe o número de requisições por telefone. Após cerca de um mês, a cota gratuita se esgotou, interrompendo os envios de mensagens. Isso compromete a continuidade da solução via WhatsApp gratuito, já que sua manutenção dependeria da contratação de um plano pago.

Diante disso, foram analisadas alternativas gratuitas viáveis, como envio de mensagens via Telegram Bot API ou e-mail, ambos sem limitações rígidas. Uma melhoria futura do projeto será a substituição do canal de notificação para essas opções, mantendo o envio em tempo real sem custos adicionais.

Um vídeo demonstrando o funcionamento do sistema, incluindo a detecção da falha de filamento e o envio de alertas via WhatsApp, está disponível no seguinte link: [Vídeo demonstrativo do protótipo](#)

Essa adaptação tornará a solução mais escalável e sustentável, especialmente em ambientes educacionais e makers, onde o baixo custo é essencial para sua adoção.

4. Conclusões

Além dos resultados técnicos, o projeto gerou ganhos formativos significativos para os estudantes, especialmente bolsistas de Iniciação Científica. A participação nas etapas de concepção, desenvolvimento e testes permitiu aplicar na prática conhecimentos de eletrônica, programação embarcada e IoT, promovendo o desenvolvimento de competências como resolução de problemas, pensamento crítico e trabalho em equipe.

A vivência no laboratório Maker reforçou a conexão entre teoria e prática e despertou interesse pela pesquisa aplicada. Embora não tenha sido feito um levantamento formal, observou-se amadurecimento técnico e acadêmico nos alunos. Sugere-se, em trabalhos futuros, a coleta estruturada de percepções e competências adquiridas.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem o apoio desta pesquisa ao laboratório Espaço Maker do IFCE campus Maracanaú e ao Departamento de Extensão, Pesquisa, Pós Graduação e Inovação (DEPPI) do campus Maracanaú pelo incentivo à pesquisa científica através de bolsas de IC.

Referências

- Santos, J. T., Andrade, Adja F. (2020) “Impressão 3D como Recurso para o Desenvolvimento de Material Didático: Associando a Cultura Maker à Resolução de Problemas”, In: Revista Novas Tecnologias na Educação, Rio Grande do Norte, v. 1, n. 18, p. 1-11.
- Shukri, A. Y. M., Abdullah, A. M., Shuib, S., Mohamad, D. (2025) “Preparation and Characterization of PLA Filaments for FDM 3D Printing”, In: Journal of Mechanical Engineering. Selangor, v.22, p. 223-232.
- Espressif Systems (2025). “ESP32 Series: datasheet version 4.8”, https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf, Acesso em: 23 mar. 2025.
- Semiconductors (2025). “TCRT5000, TCRT5000L: datasheet. datasheet. 2025”, <https://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf>, Acesso em: 23 mar. 2025.
- Makerhero (2025) “Módulo Relé 5V 1 Canal”, <https://www.makerhero.com/produto/modulo-rele-5v-1-canal>, Acesso em: 23 mar. 2025.
- Whatsapp (2025). “WhatsApp LLC. 2025” https://www.whatsapp.com/?lang=pt_BR, Acesso em: 23 mar. 2025.
- Callmebot.com (2025) “Callmebot: free api to send whatsapp messages. Free API to send Whatsapp Messages”, <https://www.callmebot.com/blog/free-api-whatsapp-messages/>, Acesso em: 23 mar. 2025.