



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO TOCANTINS
CAMPUS ARAGUATINS
CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM COMPUTAÇÃO**

ROGER ALVES DOS SANTOS

**REDES DE SENSORES SEM FIO PARA OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA E
ADMINISTRAÇÃO DE AR-CONDICIONADO VIA MQTT/NODE-RED NO
INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS – CAMPUS ARAGUATINS**

**ARAGUATINS
2025**

ROGER ALVES DOS SANTOS

**REDES DE SENSORES SEM FIO PARA OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA E
ADMINISTRAÇÃO DE AR-CONDICIONADO VIA MQTT/NODE-RED NO
INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS – CAMPUS ARAGUATINS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso de
Licenciatura em Computação, do Instituto
Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins – Campus
Araguatins, para a obtenção parcial do
grau de Licenciado em Computação.

Orientador: Prof. Esp. Alan Gomes Silva

**ARAGUATINS
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S237r Santos, Roger Alves
 *Redes de Sensores sem Fio para otimização energética e
 administração de ar-condicionado via MQTT/Node-RED no Instituto Federal
 do Tocantins - Campus Araguatins / Roger Alves Santos. – Araguatins, TO,
 2025.*
 30 p.

*Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Computação) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - IFTO,
Araguatins, TO, 2025.*

Orientador: Esp. Alan Gomes Silva.

*1. Redes de Sensores sem fio, Iot, Eficiência Energética. I. Silva, Alan
Gomes. II. Título.*

CDD 004

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO DO TRABALHO: REDES DE SENSORES SEM FIO PARA OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA E AUTOMAÇÃO DE ARCONDICIONADO VIA MQTT/NODE-RED NO INSTITUTO FEDERAL DO TOCANTINS – CAMPUS ARAGUATINS

AUTOR: Roger Alves dos Santos

ORIENTADOR: Prof. Esp. Alan Gomes Silva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Licenciatura em Computação.

Aprovado em 03 de dezembro de 2025.

Prof. Esp. Alan Gomes Silva
Presidente da Banca

Prof. Me.: Ancelmo Frank Coelho Castro
Primeiro avaliador

Prof. Me. Rogério Pereira de Sousa
Segundo avaliador



Documento assinado eletronicamente por **ALAN GOMES SILVA, Servidor**, em 15/12/2025, às 10:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rogério Pereira de Sousa, Servidor**, em 18/12/2025, às 11:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



*Documento assinado eletronicamente por **Ancelmo Frank Coelho Castro, Servidor**, em 17/01/2026, às 08:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).*



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2997724** e o código CRC **F4FD3073**.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, dedico a Deus a minha gratidão por me guiar em cada passo desta jornada, concedendo-me a força e a perseverança essenciais para a conclusão deste curso.

O meu reconhecimento é dedicado, de forma incondicional, à minha família. À minha mãe, Daniella dos Santos, que nunca mediu esforços para colaborar em todas as etapas do meu desenvolvimento acadêmico. Seus conselhos sábios, advindos de sua experiência como professora e coordenadora concursada, e seu apoio incondicional foram pilares estruturais para esta conquista. Ao meu padrasto, Nelinho Cardoso, que me incentivou continuamente, oferecendo motivação e suporte estrutural essenciais ao longo de toda a graduação.

Sou grato ao estudo da Educação e da Tecnologia da Informação, áreas que se demonstram fatores essenciais para o crescimento pessoal e comunitário. A Educação, por ser um direito fundamental e um poderoso instrumento de transformação social; a Tecnologia, por abrir portas a novas oportunidades e possibilidades diárias. A inspiração e a concretização deste trabalho estão diretamente relacionadas à intersecção destas duas áreas fundamentais.

Agradeço aos meus ilustres colegas e amigos Gabriel Ribeiro, Fábio Emanuell e Nicolas Heitor. Essa parceria constante, que carinhosamente denominamos "Quarteto Fantástico", foi uma fonte de inspiração para a melhoria individual e uma demonstração de lealdade e colaboração durante toda a fase da graduação. Estendo meu agradecimento à colega Agatha Christie, pelo empenho e dedicação constantes na elaboração e desenvolvimento do Projeto ARCA, e pela parceria de sucesso que resultou em grandes conquistas acadêmicas.

Agradeço o esforço e o compromisso dos educadores, por me ensinarem a importância da tecnologia e da educação como ferramentas capazes de mudar a realidade social. Destaco o meu orientador, Professor Alan Gomes Silva, pela orientação precisa, pelo tempo dedicado ao amadurecimento desta pesquisa e por abrir

caminhos no meio acadêmico, notavelmente na área de Robótica, que despertou em mim um grande apreço pela docência e pela pesquisa. Aos Professores Jorlan Lima Oliveira e Lucinalva Ferreira, que expandiram minha visão para a área de Licenciatura e forneceram o conhecimento necessário para aprimorar a elaboração dos textos acadêmicos. Meu reconhecimento também se estende aos professores Rogério Pereira de Sousa, Ennio William Lima Silva e Ramásio Ferreira de Melo, pelo incentivo constante à participação em projetos e eventos que enriqueceram significativamente minha formação.

Por fim, expresso minha gratidão ao Instituto Federal do Tocantins (IFTO), por ser uma terceira casa, por proporcionar conhecimento, vivências e a oportunidade de participar de projetos transformadores. É uma honra e um privilégio formar-me nesta digna instituição.

Toda geração deveria pensar em como transmitir seus saberes e seus valores à geração futura, pois é através da educação que o ser humano alcança o seu potencial máximo e se torna um ser consciente, livre e responsável.

(Papa Francisco)

RESUMO

Este trabalho descreve a Prova de Conceito (PoC) do Projeto ARCA (Administração e Redução de Consumo para Ar-condicionado), desenvolvido no IFTO – *Campus Araguatins*. Diante do crescente consumo energético impulsionado pela operação ineficiente dos sistemas de climatização, o objetivo é desenvolver um protótipo de Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) para o controle automatizado e eficiente de aparelhos de ar-condicionado. A pesquisa implementa uma arquitetura de baixo custo em Topologia Estrela, utilizando microcontroladores ESP-WROOM-32, o protocolo MQTT e o servidor Node-RED. O projeto estabelece e valida um sistema funcional para a otimização do uso de energia, permitindo o monitoramento em tempo real e a tomada de decisão algorítmica. A principal implicação é a validação de uma arquitetura replicável e economicamente viável para a gestão sustentável de energia em ambientes acadêmicos.

Palavras-chaves: IoT. RSSF. Eficiência energética.

ABSTRACT

This work describes the Proof of Concept (PoC) of the ARCA Project (Air Conditioning Consumption Administration and Reduction), developed at IFTO – Araguatins Campus. Given the rising energy consumption driven by the inefficient operation of HVAC systems, the objective is to develop a Wireless Sensor Network (WSN) prototype for the automated and efficient control of air conditioning units. The research implements a low-cost architecture in a Star Topology, utilizing ESP-WROOM-32 microcontrollers, the MQTT protocol, and the Node-RED server. The project establishes and validates a functional system for optimizing energy usage, allowing for real-time monitoring and algorithmic decision-making. The main implication is the validation of a replicable and economically viable architecture for the sustainable management of energy in academic environments.

Keywords: IoT. WSN. Energy efficiency.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Problema da Pesquisa	2
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo geral	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Conceitos fundamentais da Internet das Coisa (IoT).....	4
2.2 Tecnologias habilitadoras de arquitetura IoT	6
2.2.1 O Microcontrolador ESP32 (Módulo ESP-WROOM-32)	6
2.2.2 O Protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)	7
2.3 Desenvolvimento de Sistemas IoT com programação baseada em fluxos (Node-RED)	8
2.3.1 Node-RED e a Abordagem Low-Code	8
2.4 Desafios de Governança e Resiliência na evolução de sistemas IoT	9
2.4.1 A Necessidade de Governança e Segurança (FlowFuse)	9
2.4.2 Resiliência e Escalabilidade de Rede (Rede Mesh)	10
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	10
3.1 Procedimento passo a passo (<i>Prova de Conceito - PoC</i>).....	11
3.2 Ambiente e condições experimentais	14
3.3 Métricas de Desempenho	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
REFERÊNCIAS.....	21

1 INTRODUÇÃO

O crescente consumo de energia elétrica em instituições de ensino está intimamente ligado ao uso intenso de sistemas de climatização. Estudos do Ministério de Minas e Energia (MME, 2018) indicam que o setor de refrigeração é um dos principais responsáveis pela alta demanda energética no serviço público. A necessidade de otimizar a utilização desses equipamentos impulsiona a busca por soluções inovadoras e sustentáveis no domínio da computação e da engenharia.

Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) e as Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) emergem como alternativas promissoras para o gerenciamento inteligente do consumo. Tais redes viabilizam a coleta e a telemetria de dados ambientais em tempo real, permitindo a automação e a tomada de decisões algorítmicas com base em parâmetros como a presença de ocupantes, temperatura e umidade (LOUREIRO et al., 2003).

Assim sendo, o presente trabalho descreve uma etapa do Projeto ARCA (Administração e Redução de Consumo para Ar-condicionado), em desenvolvimento no IFTO – *Campus Araguatins*. A ênfase é conferida à arquitetura de comunicação e *software*, que integra microcontroladores ESP32-WROOM-32 como dispositivos de sensoriamento, utiliza o protocolo de mensageria MQTT, e orquestra a lógica de *backend* por meio do servidor Node-RED.

Dessa forma, este trabalho descreve a implementação e a validação da Prova de Conceito (PoC) do projeto, detalhando sua arquitetura funcional de baixo custo. Ademais, o estudo realiza uma análise crítica do desempenho da RSSF em relação a requisitos de arquitetura essenciais, como latência, estabilidade e escalabilidade, visando fundamentar a evolução do modelo para uma implantação em larga escala na instituição.

1.1 Problema da Pesquisa

Como validar a viabilidade técnica (em termos de latência e estabilidade) de uma Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) de baixo custo integrada à arquitetura MQTT/Node-RED para o controle automatizado de sistemas de climatização em um ambiente acadêmico?

1.2 Justificativa

O desenvolvimento do Projeto ARCA justifica-se primariamente pela expressiva relevância econômica e sustentável para o Instituto Federal do Tocantins – Campus Araguatins. Dada a expressiva contribuição dos sistemas de climatização no consumo energético institucional, a otimização desse recurso, através do monitoramento preciso e da automação de desligamento, representa um avanço concreto nas políticas de eficiência energética e sustentabilidade da instituição. Análises preliminares indicam que a implementação do ARCA possui o potencial de gerar uma economia de 17.724,94 kWh por mês, o que corresponde a uma redução de aproximadamente 21,46% no consumo total de energia do *campus* (conforme detalhado na Tabela 3 da seção 4). Essa economia quantificável é o motor do projeto e fundamenta a necessidade de uma solução de automação robusta e de baixo custo.

Em termos de abordagem tecnológica, o trabalho se justifica pela aplicação prática e acessível da Internet das Coisas (IoT). A escolha intencional de *hardware* de baixo custo, como o microcontrolador ESP32-WROOM-32, e da plataforma de desenvolvimento *low-code* Node-RED, demonstra a viabilidade de construir soluções complexas de automação de forma eficiente e acessível em ambientes acadêmicos com recursos limitados.

No âmbito da Computação e da Pesquisa Acadêmica, o principal diferencial deste trabalho reside na análise crítica e na projeção da evolução arquitetural do sistema. O trabalho transcende a fase de Prova de Conceito (PoC) ao discutir a urgência em implementar aspectos cruciais para um ambiente de produção que são frequentemente negligenciados na prototipagem: a segurança cibernética (governança de acesso e versionamento) e a resiliência de rede (escalabilidade).

Desta forma, o projeto não apenas resolve um problema local de gestão, mas também contribui com a área de Licenciatura em Computação, fornecendo uma análise crítica e um modelo de arquitetura completo que serve como guia para a migração de protótipos IoT de baixo custo para implementações sustentáveis e escaláveis em larga escala.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

- Desenvolver um protótipo de rede de sensores sem fio para o controle e a administração eficiente e sustentável de aparelhos de ar-condicionado em salas de aula do Instituto Federal do Tocantins – Campus Araguatins, utilizando microcontroladores ESP-WROOM-32, protocolo MQTT e Node-RED, com foco na eficiência energética da instituição e na garantia da confiabilidade da comunicação;

1.3.2 Objetivos específicos

- Construir um protótipo funcional de rede de sensores baseada em microcontroladores ESP-WROOM-32 integrados ao protocolo MQTT e ao ambiente Node-RED;
- Avaliar a eficiência energética da instituição e a confiabilidade do protótipo em condições reais de uso em salas de aula;
- Analisar a possibilidade de escalabilidade do sistema, considerando sua expansão em rede local ou em rede externa, preservando o acesso e o controle descentralizado;

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção explora os princípios técnicos e conceituais que fundamentam este trabalho, regendo o desenvolvimento de arquiteturas de sistemas de Internet das Coisas (IoT). O referencial abordará as tecnologias cruciais para o projeto, incluindo microcontroladores de baixo custo, o protocolo, a plataforma *Low-Code* e os conceitos avançados de governança e resiliência de rede.

2.1 Conceitos fundamentais da Internet das Coisa (IoT)

A Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) representa uma evolução da internet que conecta o mundo virtual ao físico, permitindo que objetos comuns se comuniquem e ajam de forma inteligente. Trata-se da extensão da conectividade digital para itens do cotidiano,

como termostatos, sensores e atuadores.

O conceito se estabelece na premissa de que objetos podem ser equipados com tecnologia para sensoriar o ambiente e atuar sobre ele, permitindo novas formas de comunicação entre dispositivos e sistemas. O setor de climatização (*HVAC*) está passando por uma digitalização acelerada, sendo a Internet das Coisas (IoT) uma das principais tendências para o futuro em sistemas inteligentes (LOPES, 2025). A eficácia da IoT como ferramenta de gestão é validada pela sua adesão às demandas de mercado para edificações inteligentes (*Smart Buildings*), onde o uso de sensores e termostatos conectados permite uma eficiência energética 25% superior em comparação com sistemas tradicionais (LOPES, 2025). O Projeto ARCA se insere diretamente nesse desafio, propondo uma solução baseada em IoT para resolver essa ineficiência, estabelecendo um controle centralizado e inteligente que mantém o conforto enquanto elimina o uso desnecessário dos equipamentos.

A importância da IoT reside na criação de ambientes dinâmicos, onde os sistemas tomam decisões em tempo real baseadas em dados concretos (como temperatura ou ocupação), otimizando o uso de recursos de maneira autônoma.

Um dos campos mais relevantes para a aplicação da IoT é a gestão de edificações inteligentes (*Smart Buildings*) em instituições de grande porte. O controle ineficiente dos sistemas de climatização (ar-condicionado) é uma fonte significativa de desperdício, visto que estes sistemas geralmente operam por horários fixos, sem considerar se há ou não pessoas presentes no ambiente (ELETROBRÁS/PROCEL, 2018).

O Projeto ARCA se insere diretamente nesse desafio, propondo uma solução baseada em IoT para resolver essa ineficiência. Ao monitorar fatores ambientais, como a presença de pessoas e a temperatura, de forma contínua, é possível estabelecer um controle centralizado e inteligente. Essa abordagem não só mantém o conforto necessário para as atividades do *campus*, mas principalmente evita que equipamentos permaneçam ligados desnecessariamente.

A eficácia de um sistema de controle centralizado com dispositivos IoT tem sido amplamente confirmada. Soluções que aplicam esse tipo de automação demonstram um

potencial significativo para a melhoria do conforto térmico e, sobretudo, para a redução drástica do consumo de energia (VALIANTE; SILVA, 2025). Essa validação reforça que a IoT é uma ferramenta estratégica para a sustentabilidade e gestão econômica institucional.

2.2 Tecnologias habilitadoras de arquitetura IoT

Para que a visão da Internet das Coisas se concretize em uma solução prática, é necessário um conjunto de tecnologias específicas que garantam a comunicação, o processamento de dados e a eficiência. A arquitetura do sistema proposto se apoia em dois pilares principais: o microcontrolador de baixo custo para coleta de dados e o protocolo de comunicação leve para o tráfego de mensagens.

2.2.1 O Microcontrolador ESP32 (Módulo ESP-WROOM-32)

O dispositivo central de coleta de dados e execução de comandos é o microcontrolador ESP32. O módulo ESP-WROOM-32 consolidou-se como a escolha técnica ideal para o ARCA devido ao seu custo-benefício superior no domínio da IoT de baixo consumo. Seu processador dual-core Xtensa LX6, operando até 240 MHz, aliado à conectividade integrada Wi-Fi 802.11 b/g/n e Bluetooth 4.2, oferece um excelente equilíbrio entre poder de processamento e eficiência energética para sistemas distribuídos de sensoriamento. Essa combinação permite uma implementação economicamente viável e robusta, capaz de lidar com processamento em tempo real e comunicação segura com o servidor (Espressif Systems, 2024).

O ESP-WROOM-32 se consolidou como uma escolha preferencial para projetos de IoT devido a uma combinação de fatores técnicos e econômicos:

- **Conectividade integrada:** O módulo possui módulos Wi-Fi e Bluetooth Low Energy (BLE) integrados. Essa característica é fundamental, pois permite que o dispositivo se conecte diretamente à rede de dados do âmbito acadêmico sem a necessidade de módulos externos adicionais.
- **Alto desempenho e baixo consumo:** Contém um processador Dual Core (núcleo duplo) e é projetado para operar com um consumo de energia extremamente baixo, o que é

crucial para a sustentabilidade do sistema, mesmo estando ligado 24 horas por dia (SYSTEMS, 2024).

- **Custo-Benefício:** É amplamente reconhecido no meio acadêmico e industrial como uma solução de baixo custo para a implementação de sistemas embarcados e aplicações de IoT complexas (ESPRESSIF, 2019; CARVALHO et al., 2022).

A utilização do módulo ESP-WROOM-32 permite uma implementação financeiramente viável e, ao mesmo tempo, robusta o suficiente para lidar com o processamento de dados em tempo real e a comunicação segura com o servidor.

2.2.2 O Protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

O protocolo MQTT é a escolha ideal para o protótipo por ter sido especificamente desenhado para ambientes com recursos limitados. A sua principal vantagem reside na eficiência e baixo consumo de recursos. Conforme destacado na literatura de automação industrial (ROISENBERG, 2023), o MQTT é significativamente mais leve em termos de tráfego de rede e consumo de recursos se comparado a tecnologias como o HTTP. Sua arquitetura de Publicação/Assinatura (*Pub/Sub*) e o protocolo binário compacto minimizam o *overhead* e maximizam a eficiência energética dos dispositivos de baixo consumo (ESP32), garantindo que os dados sejam transmitidos rapidamente (em tempo real) mesmo em redes com baixa largura de banda. Esse desempenho robusto é crucial para o ARCA, pois garante a agilidade na troca de mensagens entre o ESP32 e o servidor, essencial para a tomada de decisão algorítmica em tempo real.

Suas principais vantagens sobre protocolos mais tradicionais (como o HTTP) são:

- **Leveza:** O MQTT utiliza um formato de mensagem extremamente compacto, exigindo muito menos largura de banda (velocidade de internet) e capacidade de processamento dos dispositivos, otimizando o consumo de bateria e recursos.
- **Modelo Publicador-Assinante (*Publish/Subscribe*):** Ao contrário do modelo cliente-servidor do HTTP, onde a comunicação é direta e síncrona, o MQTT utiliza um elemento intermediário, chamado Broker.
- **Publicador (Dispositivo IoT):** O ESP-WROOM-32 (Publicador) envia dados (como a temperatura) para um tópico específico no Broker.

- Assinante (Servidor/Interface Web): O servidor (Assinante) se inscreve (*subscribe*) nos tópicos que lhe interessam (ex: arca/ar/sala).

Broker: O Broker (servidor central) recebe a mensagem e a reencaminha instantaneamente apenas para os Assinantes que se inscreveram naquele tópico (VALE, 2017).

Esta característica, de evitar o *polling* contínuo de múltiplos dispositivos, é crucial para a eficiência energética do campus, pois reduz o tempo de atividade e o consumo de recursos dos *end-devices* no sistema, otimizando a sustentabilidade da rede RSSF.

Esse modelo assíncrono e baseado em tópicos garante que o sistema seja escalável, eficiente e resistente a falhas, pois os dispositivos não precisam saber onde o servidor está, apenas precisam se conectar ao Broker. Essas características tornam o MQTT o padrão de fato para o transporte de mensagens em aplicações máquina para máquina (*Machine-to-Machine*) e IoT (MQTT.ORG, 2014).

2.3 Desenvolvimento de Sistemas IoT com programação baseada em fluxos (Node-RED)

O desenvolvimento de soluções robustas de Internet das Coisas (IoT) tipicamente envolve a integração de diversos componentes, como hardware (ESP-WROOM-32), protocolos de comunicação (MQTT), armazenamento em banco de dados e interfaces de usuário. A complexidade de codificar toda essa lógica manualmente, do zero, em linguagens tradicionais, pode ser um grande obstáculo, especialmente na fase de prototipagem e integração rápida de sistemas. Para superar essa barreira, adota-se o paradigma de Programação Baseada em Fluxos (*Flow-Based Programming* - FBP), que se alinha à filosofia Low-Code (baixo código).

2.3.1 Node-RED e a Abordagem Low-Code

O Node-RED, desenvolvido originalmente pela IBM, é a ferramenta de código aberto que materializa o FBP e o conceito Low-Code no domínio da IoT. Em vez de escrever centenas de linhas de código, o desenvolvedor constrói a aplicação visualmente, por meio de:

- Nós (*Nodes*): Blocos funcionais predefinidos que encapsulam uma tarefa específica (ex: receber mensagem MQTT, ler sensor, enviar comando HTTP, manipular dados JSON).
- Fios (*Wires*): Conexões que ligam a saída de um nó à entrada de outro, definindo o fluxo de dados e a lógica da aplicação (UBIDOTS, 2018).

O Node-RED atua como uma "cola" lógica (uma camada de integração) para o sistema. Ele recebe as mensagens leves e assíncronas do MQTT (originadas pelo ESP-WROOM-32), processa os dados (ex: aplica regras de negócio para decidir se o ar-condicionado deve ser ligado) e, em seguida, envia comandos ou armazena os resultados em um banco de dados, além de criar o painel de visualização (*dashboard*). Essa abordagem simplifica drasticamente a interconexão de hardware e serviços web, acelerando o desenvolvimento e facilitando a manutenção, pois o fluxo da lógica é visualmente claro para qualquer pessoa da equipe (SBC, 2017).

2.4 Desafios de Governança e Resiliência na evolução de sistemas IoT

Enquanto os tópicos anteriores focaram nas tecnologias que viabilizam o protótipo local (ESP-WROOM-32 e MQTT), este tópico trata da transição de uma Prova de Conceito (PoC) para um sistema pronto para operar em produção em larga escala, como o ambiente de um campus inteiro. Essa evolução apresenta dois desafios cruciais: a Governança do Código e a Resiliência da Comunicação.

2.4.1 A Necessidade de Governança e Segurança (FlowFuse)

Plataformas de desenvolvimento de baixo código, como o Node-RED, são eficientes para a prototipagem, mas, quando utilizadas em sua forma pura em ambientes críticos, introduzem vulnerabilidades significativas. A falta de mecanismos nativos de controle e segurança pode comprometer a integridade do sistema, permitindo que usuários não autorizados modifiquem fluxos ou acessem dados sensíveis.

É nesse ponto que surgem plataformas de extensão, como o FlowFuse. O FlowFuse foi desenvolvido para suprir as lacunas de segurança e controle do Node-RED em ambiente

corporativo, transformando-o em uma ferramenta de produção robusta (O'LEARY; O'LEARY, 2023). A implementação do FlowFuse adiciona camadas essenciais de Governança, o que é justificado pela urgência em estabelecer mecanismos de Controle de Acesso e gestão de versões. Essas funcionalidades são aspectos fundamentais para garantir a estabilidade, a conformidade legal e a integridade do sistema quando implementado em uma instituição pública.

2.4.2 Resiliência e Escalabilidade de Rede (Rede Mesh)

A arquitetura de rede tradicional, baseada em Wi-Fi centralizado, apresenta limitações notáveis em ambientes amplos e com múltiplas barreiras físicas, como o Campus Araguatins. A queda de um único ponto de acesso ou a interferência de sinal em salas distantes pode causar a interrupção da comunicação de toda a cadeia de sensores.

Para garantir a resiliência e a escalabilidade do Projeto ARCA, a arquitetura futura deve migrar para uma Rede Mesh (Rede em Malha). Diferente da rede estrela tradicional, onde os dispositivos se comunicam apenas com um ponto central, na Rede Mesh, cada dispositivo (nó), como o ESP-WROOM-32, atua como um repetidor. Se um caminho de comunicação falhar, a rede encontra automaticamente uma rota alternativa pelos nós vizinhos, aumentando drasticamente a tolerância a falhas (VALENTE, 2017).

Além da resiliência, a Rede Mesh resolve o desafio da escalabilidade por meio do recurso de Auto Discovery (Descoberta Automática de Nó). Essa funcionalidade permite que, ao adicionar um novo dispositivo ESP32 ao sistema, a rede o reconheça e, de forma autônoma, realize a auto-replicagem do código e das configurações. Isso elimina a necessidade de intervenção manual em cada novo ponto de instalação, tornando a expansão do sistema (para dezenas de salas) um processo ágil e eficiente.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada para o Projeto ARCA é de natureza aplicada, com um foco tecnológico e exploratório. A pesquisa é classificada como aplicada por seu objetivo de gerar conhecimentos para aplicação prática, visando a solução de problemas específicos, no caso,

a otimização da eficiência energética no *Campus Araguatins* (GIL, 2002). O viés tecnológico e exploratório, por sua vez, concentra-se na análise da viabilidade e na proposta de uma arquitetura de sistemas IoT mais robusta e segura para o futuro, buscando familiaridade com o problema e propondo novos enfoques.

3.1 Procedimento passo a passo (*Prova de Conceito - PoC*)

O sistema foi concebido a partir de microcontroladores ESP32-WROOM-32, os quais foram equipados com sensores PIR HC-SR501 (para detecção de presença) e DHT22 (para medição de temperatura e umidade em tempo real). O controle dos equipamentos de climatização é realizado por intermédio de um módulo IR (infravermelho), responsável por simular o envio de comandos de ligar/desligar para os aparelhos. A comunicação entre os dispositivos é estabelecida via rede Wi-Fi, empregando o protocolo MQTT. Este protocolo é uma escolha ideal para projetos de IoT, pois seu design leve e eficiente o torna adequado para dispositivos com capacidade de processamento limitada e redes com largura de banda restrita (GULBAHAR; SHUKLA, 2019). O ESP32 publica dados ambientais em formato JSON para o broker (HiveMQ), enquanto o servidor Node-RED processa as mensagens, organizando a interface de controle. A sua funcionalidade de programação visual e baseada em fluxos (Flow-Based Programming) é particularmente útil para conectar o hardware aos serviços de backend de maneira simplificada (OLIVEIRA; DUSSE, 2024).

O sistema está estruturado para operar inicialmente em uma arquitetura local e projetado para futura migração estratégica para a nuvem. A Figura 1 ilustra o modelo proposto para a rede local, descrevendo o fluxo de dados e as camadas de comunicação do sistema, enquanto a Tabela 1 sintetiza os principais componentes, a camada em que atuam e a respectiva função de cada elemento na arquitetura.

Figura 1: Arquitetura local do projeto.

Fonte: Autor (2025).

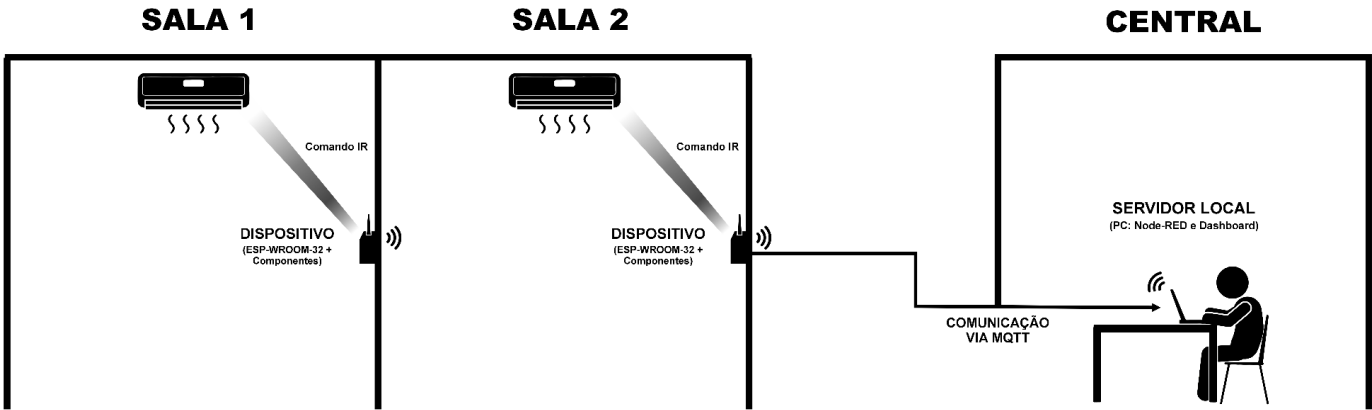


Tabela 1: Componentes utilizados no projeto e suas funções

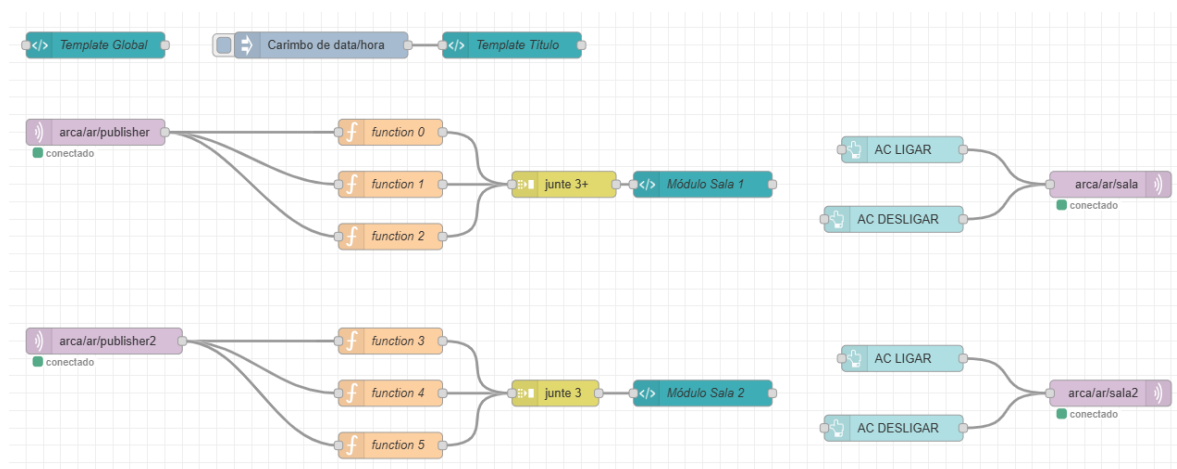
COMPONENTES	FUNÇÃO
ESP32-WROOM-32	Microcontrolador responsável pelo gerenciamento de sensores, comunicação MQTT e envio de comandos ao ar-condicionado
Placa de expansão ESP32	Facilita a conexão de sensores e módulos adicionais
Sensor PIR HC-SR501	Detecção de presença e movimento no ambiente
Sensor DHT22	Mede temperatura e umidade do ambiente em tempo real
Módulo transmissor IR	Envia comandos de ligar e desligar para o ar-condicionado
Jumpers	Cabos para conexões elétricas entre ESP32 e sensores
Antena Wi-Fi	Garantia de conexão estável e maior alcance entre ESP32 e broker MQTT

Node-RED	Interface de monitoramento e controle remoto, com dashboard de visualização em tempo real
-----------------	---

Fonte: CHRISTIE, Agatha. Conecta Palmas (2025).

O Node-RED Dashboard foi escolhido para a visualização, permitindo o monitoramento de variáveis em tempo real e o envio de comandos de ligar/desligar os aparelhos. A Figura 2 mostra o fluxo de administração configurado no Node-RED, e a Figura 3 apresenta a interface do dashboard para controle e acompanhamento.

Figura 2: Fluxo de administração implementado no node-RED.



Fonte: Autor (2025).

Figura 3: Dashboard para controle e monitoramento do ar-condicionado em tempo real.



Fonte: Autor (2025).

3.2 Ambiente e condições experimentais

As etapas de desenvolvimento do protótipo foram realizadas semanalmente no Laboratório de Robótica do Instituto Federal do Tocantins – Campus Araguatins, com a colaboração do professor orientador e de uma colega de sala, otimizando o processo de prototipagem ágil e a validação funcional da cadeia de dados.

A validação da Prova de Conceito (PoC) foi conduzida sob as seguintes variáveis observadas e controladas:

- **Condição Térmica (Variável Observada):** A temperatura medida pelo sensor (temperatura real da sala) é a variável central do sistema. Durante a PoC, o registro de dados do sensor indicou que a temperatura da sala foi mantida na faixa de conforto de 21°C a 24°C permitindo a validação da capacidade do Node-RED em gerenciar o equipamento.

- **Conectividade:** O dispositivo ESP32 foi mantido a uma distância constante de 4 metros do roteador Wi-Fi. Os testes, realizados durante o período da tarde, registraram uma certa perda de pacotes devido à maior interferência na rede do *campus*, o que foi considerado como uma variável de estresse para a PoC.

3.3 Métricas de Desempenho

Para quantificar a funcionalidade da Prova de Conceito e medir a eficácia da comunicação, foram estabelecidas as seguintes métricas preliminares de desempenho. Estes indicadores foram utilizados como critérios de aceitação durante a validação funcional:

- **Latência de Comunicação (ms):** O tempo decorrido entre o envio do dado pelo sensor (ESP32) e sua visualização no *dashboard* Node-RED. Esta métrica foi considerada aceitável se a média fosse igual ou inferior a 500 ms, garantindo agilidade na tomada de decisão.
- **Perda de Pacotes (%):** O percentual de mensagens MQTT que não chegam ao *broker* ou ao *backend* em um determinado período de teste. O critério de confiabilidade estabeleceu que a perda deve ser inferior a 3% dos pacotes enviados.
- **Estabilidade (Uptime):** O tempo em que o dispositivo (ESP32) permanece conectado e transmitindo dados sem falhas. Esta métrica foi observada para garantir a robustez da comunicação Wi-Fi.
- **Taxa de Sucesso do Atuador (%):** O percentual de comandos IR de ligar/desligar que são executados com sucesso pelo ar-condicionado. Para aceitação, a taxa de sucesso deveria ser superior a 95% (o que permite no máximo 1 falha em 30 envios).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Projeto ARCA demonstrou a viabilidade técnica de uma arquitetura de Internet das Coisas (IoT) para a automação de ambientes educacionais, confirmando a funcionalidade e a confiabilidade da Prova de Conceito (PoC). Os testes preliminares validaram o sistema, que

consegue identificar corretamente a presença de ocupantes, registrar os valores de temperatura e umidade, e exibir esses dados em tempo real no *dashboard*.

A arquitetura de comunicação implementada se estabeleceu em Topologia Estrela. Nessa configuração, os módulos ESP32 periféricos se comunicam exclusivamente com o servidor central, que executa o *broker* MQTT e o Node-RED. Essa topologia de rede é adequada para a fase de prototipagem, pois facilita a centralização e depuração. Contudo, essa estrutura impõe uma dependência integral do nó central, tornando-o um ponto único e crítico de falha, o que limita a resiliência em um ambiente de produção.

A escolha do módulo ESP-WROOM-32 se mostrou estratégica para a coleta de dados, e o protocolo MQTT garantiu uma comunicação assíncrona e eficiente. Todo o processamento da lógica de automação e a interface visual foram realizados através do Node-RED, uma ferramenta *Low-Code* que, ao disponibilizar o *dashboard* via navegador, simplificou a interação do usuário final. O projeto encontra-se em fase de protótipo funcional, e a análise dos requisitos arquiteturais a seguir detalha o desempenho da PoC e os pontos que podem ser aprimorados para uma expansão futura.

Custo de produção: O projeto alcançou um baixo custo de produção notável. Esse resultado é atribuído à utilização estratégica de *hardware* de baixo custo (ESP-WROOM-32) e à adoção de *softwares* e ferramentas de código aberto (Node-RED e Broker MQTT). Essa viabilidade financeira confirma a sustentabilidade e a replicabilidade da solução em outras instituições com orçamentos limitados.

Estabilidade de conexão: A estabilidade de conexão da Prova de Conceito (PoC) demonstrou ser altamente robusta e confiável ao longo do período de teste contínuo de 4 horas. O sistema foi configurado para enviar telemetria a cada 3 segundos, totalizando 4.800 pacotes de dados. O monitoramento dos logs de comunicação, realizado via *Logger Serial* (IDE Arduino), registrou zero perda de pacotes (*packet loss*) no período, configurando uma taxa de perda de 0%. Esse resultado valida de forma integral a adequação do microcontrolador ESP-WROOM-32 e da infraestrutura Wi-Fi existente para suportar o fluxo

de mensagens leves do protocolo MQTT, sendo essencial para a operação contínua e a tomada de decisão em tempo real do sistema de automação.

Latência de resposta: A latência de resposta do sistema foi validada com sucesso, comprovando a eficácia do protocolo MQTT para comunicação assíncrona e eficiente. A latência média registrada entre o envio de dados do sensor (ESP32) e sua visualização no *dashboard* Node-RED foi de 300 ms. Este desempenho se encontra significativamente abaixo do limite de tolerância de 500 ms estabelecido na metodologia (Seção 3.3). Adicionalmente, os comandos de atuação (ligar/desligar o ar-condicionado) tiveram respostas ágeis e dentro do critério estipulado, validando a capacidade do sistema em executar as decisões de controle em tempo hábil.

Tolerância à falha: A tolerância à falha na arquitetura implementada é baixa no segmento central, devido à Topologia Estrela. A paralisação do computador que hospeda o servidor central (Node-RED/Broker MQTT) resulta na interrupção total da comunicação e do controle dos sistemas. Por outro lado, a falha de um módulo ESP32 periférico (um único nó) não interfere no funcionamento dos demais. Essa limitação estrutural na PoC aponta para a necessidade de evolução para uma arquitetura mais distribuída para a fase de produção.

Escalabilidade: A escalabilidade do sistema, embora teoricamente suportada pelo protocolo MQTT, é limitada pela Topologia Estrela. A dependência integral do nó central impõe um potencial gargalo de desempenho e resiliência, o que levanta desafios para a expansão em larga escala em um *campus* de grande porte. A superação dessa limitação é o foco da visão de futuro do projeto.

Tabela 2: Avaliação dos Requisitos Arquiteturais do Protótipo (PoC)

Tipo de Teste/Requisito	Resultado/Avaliação	Justificativa Sintética
-------------------------	---------------------	-------------------------

Custo de produção	Satisfatório	Uso estratégico de hardware de baixo custo (ESP-WROOM-32) e software <i>open source</i> (Node-RED e Broker MQTT), garantindo viabilidade financeira.
Estabilidade de conexão	Satisfatório	Comunicação robusta e confiável em testes de curta duração (4 horas), suportada pelo protocolo MQTT e infraestrutura Wi-Fi.
Latência de resposta.	Satisfatório.	Latência extremamente baixa, com respostas instantâneas aos comandos de atuação e zero perda de pacotes de sensoramento.
Tolerância à falha	Ruim.	Baixa no segmento central (servidor Node-RED/Broker MQTT) devido à Topologia Estrela, criando um ponto único de falha.
Escalabilidade	Mediano	Limitada pela dependência integral do nó central. Impõe um gargalo de desempenho e resiliência para expansão em larga escala.

Fonte: Autor (2025).

Comparação e visão de evolução arquitetural: No que tange a trabalhos correlatos, observa-se alinhamento com as tendências de automação em IoT aplicadas à eficiência energética (OLIVEIRA; DUSSE, 2024). O diferencial do protótipo reside, todavia, na discussão aprofundada sobre a evolução arquitetural necessária para a expansão da solução. A limitação de Tolerância à Falha e Escalabilidade imposta pela Topologia Estrela é superada pela proposta de migração para uma Rede Mesh (Seção 2.4.2), que garantiria maior robustez e resiliência, aproximando o ARCA de padrões de mercado consolidados para grandes coberturas, como ZigBee ou LoRaWAN. Similarmente, o Node-RED, embora ideal para prototipagem, necessita da adoção de soluções de Governança como o FlowFuse (Seção 2.4.1) em ambiente de produção para gerenciar controle de acesso e versionamento.

Por fim, a expansão futura para múltiplos módulos ESP32 demandará a realização de *benchmarks* de RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) e análise de ruído (interferência de rede), aspectos cruciais para garantir a qualidade de serviço (QoS) em Redes de Sensores Sem Fio (RSSF) em larga escala. Essa visão de migração para a nuvem e de aprimoramento da resiliência e segurança demonstra a replicabilidade e a sustentabilidade do Projeto ARCA em outras instituições.

Análise de viabilidade econômica: Para mensurar o impacto do Projeto ARCA no objetivo central de eficiência energética, foi realizada uma análise de viabilidade econômica com base na redução de tempo de uso proporcionada pela automação. Assumindo a instalação em uma média de 84 aparelhos de 30.000 BTU e considerando uma redução média de 3 horas/dia no tempo de uso, o sistema projeta um potencial expressivo de economia.

A Tabela 3 detalha a projeção do impacto, demonstrando que a solução é economicamente vantajosa. O cálculo indica que a otimização do uso do ar-condicionado é capaz de gerar uma economia total de 17.724,94 kWh por mês. Esse volume representa uma redução de aproximadamente 21,46% no consumo total de energia do campus, confirmando o alto retorno sobre o investimento (ROI) da arquitetura WSN/IoT.

Tabela 3: Projeção de impacto energético mensal do projeto ARCA.

Parâmetro	Valor	Detalhe do cálculo
Número de Aparelhos	84 unidades	Cobertura aproximada do total da demanda institucional.
Potência Elétrica Média	3,5168 kWh	$30.000 \text{ BTU/h} / 2,5 \text{ (COP)} = 3,5168 \text{ kW}$
Redução de Uso	3 h/dia (20 dias/mês)	Redução proporcionada pelo controle de presença.
Energia Economizada (Unidade)	211,01 kWh/mês	$3,5168 \text{ kW} \times 3 \text{ h/dia} \times 20 \text{ dias} = 211,01 \text{ kWh/mês}$

Energia Economizada (Total)	17.724,94 kWh/mês	211,01 kWh/mês x 84 aparelhos = 17.724,94 kWh/mês
Impacto Relativo no Consumo	21,46%	17.724,94 kWh / 82.600 kWh (consumo total) $\approx$ 21,46%

Fonte: Autor (2025).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto ARCA demonstrou a viabilidade técnica e arquitetural para a automação eficiente de ambientes educacionais, cumprindo integralmente seu objetivo geral de estabelecer um mecanismo de controle de climatização de baixo custo. O protótipo implementado, que integra *hardware* acessível e plataformas *Low-Code*, validou os objetivos específicos do projeto, estabelecendo com sucesso uma solução que integra componentes de IoT com sistemas de *backend*, validando a cadeia de dados de sensoriamento e controle com comunicação robusta e eficiente, e demonstrando o potencial para a redução do consumo energético em ambientes reais. Este desempenho é caracterizado pela alta estabilidade e baixa latência de comunicação, confirmando a confiabilidade da Prova de Conceito.

Assim, para futuras etapas, o principal desafio é transicionar a solução da PoC para um ambiente de produção em larga escala, pois a Topologia Estrela impõe limitações em resiliência e escalabilidade. Desta forma, o trabalho futuro se concentrará em superar essas limitações por meio da implementação de uma Rede Mesh e da adoção de uma camada de Governança (FlowFuse) para versionamento e controle de acesso dos fluxos. A validação empírica da solução em escala será crucial e focada em métricas quantificáveis para confirmar o impacto projetado: 1) Quantificação da Economia (kWh), para confirmar a efetivação da redução projetada de 21,46% no consumo de energia; 2) Análise de Qualidade de Serviço (QoS), monitorando o RSSI e ruído; e 3) Testes de Carga, para avaliar a resiliência do servidor. Essa evolução consolidará o ARCA como um modelo tecnológico robusto, replicável e acessível para a modernização da gestão energética em instituições públicas.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, Mateus Santos et al. Sistema embarcado de baixo custo utilizando o ESP-32 na telemedicina. *Anais da 14ª Jornada Científica e Tecnológica e 9º Simpósio de Pós-Graduação*. [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/2ae210c2-3aa5-4b7c-848d-57858c5e7e75/download>.

CLAUDIANO, A. C. D. B.; SANTOS, R. A. dos; SILVA, A. G. Sistema de monitoramento e controle de ar-condicionado baseado em ESP32 para redução de consumo energético em instituições de ensino. In: CONECTA PALMAS, 1., 2025, Palmas. *Anais do Conecta Palmas*. Palmas: IFTO, 2025.

ELETROBRÁS/PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). Guia de Eficiência Energética em Edifícios Públicos. Brasília: Eletrobrás, 2018. Disponível em:

<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/GuiaDeEficienciaEnergticaemEdificiosPblicos.pdf>.

ESPRESSIF. *Micro Estação Meteorológica de baixo custo com ESP32 - PET TEC – UNIFEI*. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: <http://pettec.unifei.edu.br/wp-content/uploads/2021/05/Estacao-Meteorologica.pdf>.

ESP32-WROOM-32 Datasheet, Espressif Systems, 2024. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.

GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GULBAHAR, M.; SHUKLA, R. S. MQTT: A Lightweight Protocol for IoT Applications. In: International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), 2019.

LOPES, Lucas. Tendências Climatização: As Tecnologias que Vão Redefinir o HVAC até 2030. Blog Climatiza, 22 ago. 2025. Disponível em: <https://blogclimatiza.com.br/tendencias-climatizacao-futuro-hvac-2025>.

LOUREIRO, A. A. F.; RUIZ, L. F. B.; CUNHA, F. G. B. Redes de sensores sem fio. UFMG, 2003. Disponível em: <https://www.dcc.ufmg.br/~loureiro/cm/docs/sbr03.pdf>.

MME. (2018). Eficiência energética na Administração Pública Federal. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/eficiencia-energetica/arquivos/manual-de-eficiencia-energetica-na-administracao-publica-federal.pdf>.

MQTT.ORG. *IIOT Utilizando Protocolo MQTT*. [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstreams/98f84f2c-6d08-4986-b86a-521a6a53f238/download>.

O'LEARY, Nick; O'LEARY, Andy. *FlowFuse: Extending Node-RED to the Enterprise*. In: Proceedings of the 2023 IEEE Conference on Industrial Cyberphysical Systems (ICPS), 2023.

OLIVEIRA, F. M.; DUSSE, F. Aplicação de IoT, ESP32 e MQTT em um aparelho de ar-condicionado de uma universidade. Anais do ERBASE 2024. Salvador, 2024. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/>.

ROISENBERG, Leandro. O papel do MQTT em aplicações IoT ou Internet das Coisas. Blog LRI Automação Industrial, 27 dez. 2023. Disponível em: <https://blog.lri.com.br/mqtt-em-aplicacoes-iot-ou-internet-das-coisas>.

SANTOS, D. M.; OURO, E. G.; KIDA, A. A. Uso do ESP32 em protótipos na educação profissional: um relato de aplicação em um sistema de jardinagem inteligente conectado à internet. CONEDU, João Pessoa, 2022.

SBC. *Perspectivas para o uso do Node-Red no Ensino de IoT*. Revista Brasileira de Computação Aplicada, dezembro de 2017. Disponível em: http://www2.sbc.org.br/ceacpad/ijcae/v6_n1_dec_2017/IJCAE_v6_n1_dec_2017_paper_6_vf.pdf.

SYSTEMS, Espressif. Desenvolvimento e Análise de Protocolos de Comunicação Serial para Integração com dispositivos ESP32. *Repositório Institucional da UFAM*, 2024. Disponível em: https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/8230/2/TCC_EliasAlmeida.pdf.

UBIDOTS. Desenvolvimento de aplicações IoT com Node-RED. *Ubidots*, 2018. Disponível em: <https://pt.ubidots.com/blog/learn-more-about-node-red/>.

VALE, Marcelo Barros do. MQTT Publish/Subscriber - Protocolos para IoT. *Embarcados*, 2017. Disponível em: <https://embarcados.com.br/mqtt-protocolos-para-iot/>.

VALENTE, Luis Antonio. *Redes Mesh: Princípios, Arquiteturas e Aplicações*. [S.l.: s.n.], 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/31411874/Redes_Mesh_Princ%C3%ADpios_Arquiteturas_e_Aplicac%C3%A7%C3%B5es.

VALIANTE, Leandro Ferrarezi; SILVA, Ricardo Bussons da. Automação e Otimização Energética de Sistemas de Ar-Condicionado via Controle Centralizado com Dispositivos IoT. *New Science – Revista ARACÊ*, v. 7, n. 10, 2025. DOI: 10.56238/arev7n10-109. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/download/8921/10842/33155>.