



Recebido em: 02/04/2024.

Aceito em: 28/05/2024.

Revista SODEBRAS – Volume 19

Nº 221 – MAIO/ JUNHO - 2024

A CONVERGÊNCIA DA IOT E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA APRIMORAR A MONITORIZAÇÃO E CONTROLE EM AMBIENTES CRÍTICOS

THE CONVERGENCE OF IOT AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO IMPROVE MONITORING AND CONTROL IN CRITICAL ENVIRONMENTS

Manoel Socorro Santos Azevedo¹Marcelo Weber Schiller²Alysson Roberto Garcia Azevedo³Edevaldo dos Santos Azevedo⁴

Resumo – Este artigo permitiu descrever e desenvolver um protótipo de um sistema para monitorar gases, fumaça, temperatura e umidade, visando a detecção de incêndios, por meio da aplicação de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e sistemas embarcados. O sistema abrange hardware, software e aplicativos para dispositivos móveis (Web/App), além de um modelo de IA denominado IoT-IA. Destaca-se sua relevância em ambientes críticos, como indústrias, residências, prédios comerciais e Data Centers, onde a vigilância é crucial para evitar danos causados por incêndios. Os sensores coletam informações, que são então analisadas por meio de técnicas de IA e disponibilizadas remotamente por meio da internet. A metodologia de desenvolvimento, os componentes de hardware e software, juntamente com os resultados alcançados, são detalhados para ilustrar como o sistema pode aprimorar a segurança e a eficiência em diversos contextos.

Palavras-chave: Aplicação Web. Monitoramento de Gás. Internet das Coisas. Inteligência Artificial.

Abstract - This paper allowed us to describe and develop a prototype of a system to monitor gases, smoke, temperature and humidity, aiming to detect fires, through the application of technologies such as Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI) and embedded systems. The system encompasses hardware, software and applications for mobile devices (Web/App), as well as an AI model called IoT-IA. Its relevance stands out in critical environments, such as industries, homes, commercial buildings and Data Centers, where surveillance is crucial to prevent damage caused by fires. Sensors collect information, which is then analyzed using AI techniques and made available remotely via the internet. The development methodology, hardware and software components, along

¹Doutor em Engenharia Elétrica; Prof. Associado da UEA; Pesquisador do Instituto Projeto Planeta. Contato: manoelazevedo@yahoo.com.br.

² Pós-Doutor em Nano-Ótica-UFPE, Pesquisador do Instituto Projeta Planeta. Contato: mschiller@uea.edu.br.

³Doutorando Profissional em Ensino Tecnológico, Instituto Federal do Amazonas. Contato: alyssonroberto10@gmail.com.

⁴ Bacharel em Economia-UFAM-Contato: edazevedo.29@gmail.com.

with the results achieved, are detailed to illustrate how the system can improve security and efficiency in various contexts.

Keywords: *Web Application. Gas Monitoring. Internet of Things. Artificial Intelligence.*

I. INTRODUÇÃO

Ambientes que contêm equipamentos críticos, seja por seu valor financeiro ou importância operacional, exigem monitoramento constante para mitigar riscos associados a fatores externos como incêndios e flutuações de temperatura. Esses espaços variam desde indústrias e residências até edifícios comerciais, *shopping centers* e *Data Centers*. Estes últimos são essenciais para atender às crescentes demandas de armazenamento e processamento de dados, impulsionadas por plataformas renomadas como *Facebook*, *Google Books*, *eBay*, *PayPal*, *YouTube* e *WhatsApp* (Ribeiro, 2020).

O monitoramento desses locais é crucial para prevenir danos causados por eventos adversos, como incêndios. Além disso, a manutenção da integridade física e operacional desses ambientes é vital, dada a elevada complexidade e custo dos sistemas que eles abrigam, particularmente nos *Data Centers*. Estes enfrentam custos significativos de energia, operação e conectividade, amplificados pela necessidade de escalabilidade, segurança e eficiência exigidas por serviços online em constante expansão (De Oliveira; Lima, 2022).

Neste contexto, a infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) baseada em outsourcing, como o *Cloud Computing*, desempenha um papel crucial. Ela deve garantir propriedades críticas como disponibilidade, manutenibilidade, espaço físico adequado, escalabilidade e segurança a um custo reduzido. Tais sistemas devem também prevenir problemas como superaquecimento e oscilações de temperatura, usando soluções inovadoras como a Internet das Coisas (IoT), otimização e inteligência artificial para a coleta, processamento e transmissão de dados (Guedes; Azevedo; Leite; Costa *et al.*, 2019).

A adoção da IoT em ambientes industriais, residenciais, comerciais e de saúde permite um monitoramento automatizado, que não só armazena e processa informações, mas também aplica técnicas de Inteligência Artificial para modelar e prever comportamentos críticos. Este monitoramento é estratégico para as organizações, pois permite um gerenciamento em tempo real que é essencial para a tomada de decisões informadas e ágeis (Da Silva; Silva; Da Silva; Lins *et al.*, 2022).

Diante desse panorama, surge o questionamento: como monitorar e controlar as oscilações das principais variáveis que impactam o funcionamento desses ambientes específicos utilizando a *IoT* e técnicas de Inteligência Artificial? Este projeto busca responder a essa questão, desenvolvendo modelos que permitam uma aquisição de dados mais rápida e precisa, crucial para a sustentação e sucesso de empresas em um mercado global competitivo (Pelozo; Olivero, 2020).

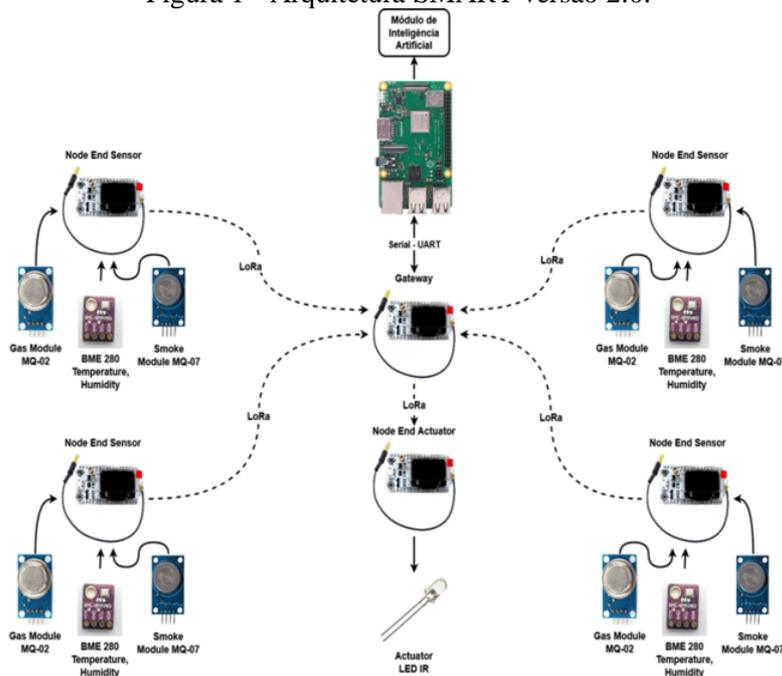
II. METODOLOGIA

Este projeto emprega uma abordagem integrada para o desenvolvimento e implementação de um Sistema de Monitoramento e Controle de gás, fumaça e temperatura utilizando a Internet das Coisas (IoT). A solução utiliza dispositivos IoT baseados na plataforma de hardware Raspberry Pi, criando um protótipo energética e financeiramente eficiente. Este sistema é destinado a monitorar ambientes com equipamentos que operam continuamente (Oliveira, 2007).

O sistema é composto por módulos de sensores e atuadores, estruturados de acordo com a Arquitetura *SMART* versão 2.0. Esta arquitetura interconecta dispositivos que

detectam variáveis ambientais críticas. Os dados capturados são armazenados em um banco de dados centralizado e processados para fornecer informações precisas e tempestivas. As informações geradas são categorizadas em níveis técnico e administrativo e são acessíveis através de uma interface web intuitiva. Esta interface não só exibe dados em tempo real, mas também emite alertas preventivos para mitigar riscos iminentes. A Figura 1 ilustra a organização e funcionalidade deste sistema baseado na Arquitetura *SMART* versão 2.0.

Figura 1 - Arquitetura *SMART* versão 2.0.



Fonte: O Autor (2023).

Os componentes do sistema incluem:

- Raspberry Pi: Atua como o cérebro do sistema, integrando diferentes módulos de sensores e atuadores.
- ESP32: Uma placa microcontroladora que conecta os sensores ao Raspberry Pi via WiFi e Bluetooth, ilustrada na figura 2. Ela é crucial para a transmissão de dados para o servidor e para acionar atuadores conforme necessário.

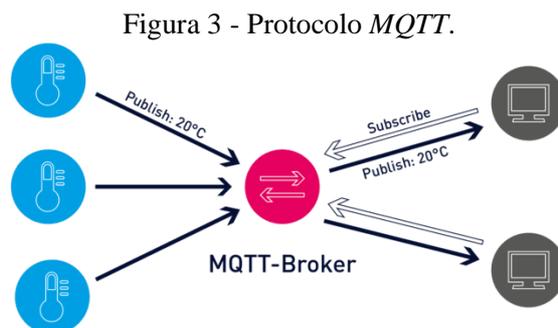
Figura 2 - Especificações técnicas do ESP32.

	ESP32
Cores	2
Arquitetura	32 bits
Clock	160MHz
WiFi	Sim
Bluetooth	Sim
RAM	512KB
FLASH	16Mb
GPIO	36
Interfaces	SPI / I2C / UART / I2S / CAN
ADC	18
DAC	2

Fonte: Adaptado de (MARTINS, 2019).

- Sensores: Incluem o *BME280* para medição de temperatura, umidade e pressão atmosférica e os sensores *MQ02* e *MQ07* para detecção de gases e monóxido de carbono, respectivamente.

- *MQTT*: Um protocolo leve de mensagens que facilita a comunicação entre dispositivos IoT em redes com largura de banda limitada, descrito na figura 3.



Fonte: (“MQTT,” [s.d.]).

A Tabela 1 ilustra os principais blocos de circuito do Módulo *SMART*: Fonte de Alimentação, Microcontrolador *ESP32*, Módulo de Comunicação *Wi-Fi*, Sensores: Temperatura, gás, fumaça e *Display OLED*. Cada bloco desempenha um papel fundamental na funcionalidade e desempenho do dispositivo, garantindo sua eficácia e versatilidade em diversas aplicações IoT.

Tabela 1 – Blocos de circuito do Módulo *SMART*.

Bloco de circuito	Descrição
1	Conversor analógico digital - <i>ADS1115</i>
2	Conversor de nível lógico 5V - 3.3V
3	Placa microcontroladora <i>ESP32</i>
4	Sensor digital - <i>BME280</i>
5	Sensor de gás - <i>MQ02</i>
6	Sensor de fumaça - <i>MQ07</i>

Fonte: O Autor (2023).

A placa *ESP32* representa uma solução compacta e altamente flexível para o desenvolvimento, fundamentada no chip *ESP32* da *Espressif Systems*. Integrando *Wi-Fi* e *Bluetooth*, ela proporciona uma ampla gama de recursos de conectividade para projetos de Internet das Coisas (IoT). Graças ao seu consumo eficiente de energia e poder de processamento substancial, esta placa é ideal para uma diversidade de aplicações, que vão desde automação residencial até dispositivos portáteis e tecnologias vestíveis, como ilustrado na figura 4.

Figura 4 – Placa *ESP32* e seus principais sensores



Fonte: Autores (2023).

O desenvolvimento do projeto foi organizado em três fases principais conforme a *MeDSE* – Metodologia de Desenvolvimento de Sistemas Evolutivos:

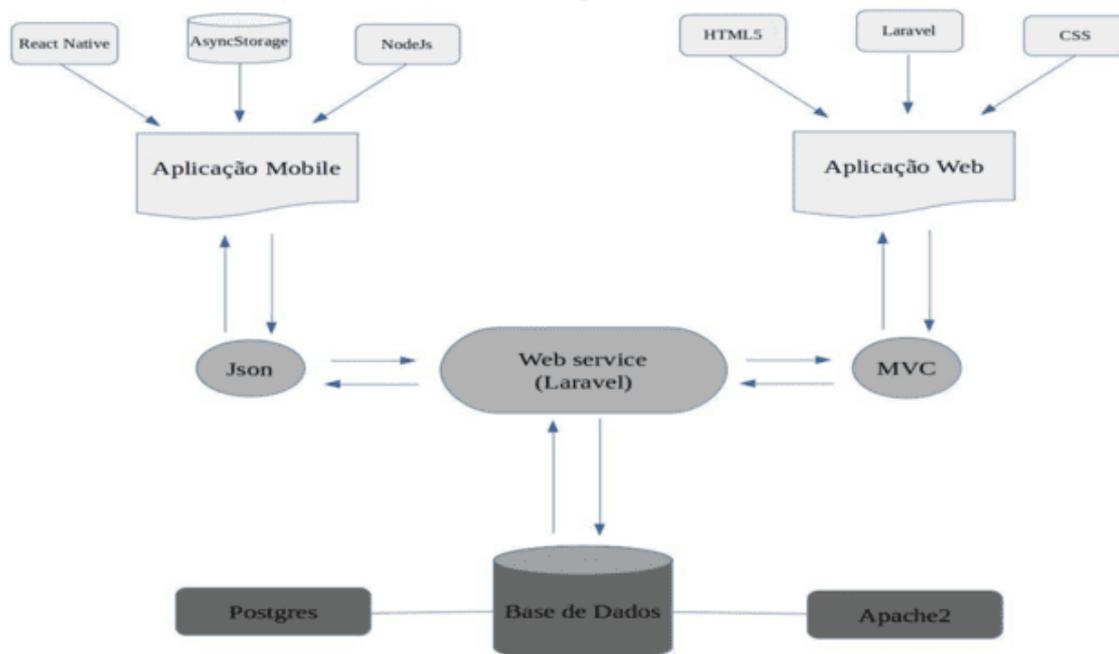
1. Fase de Conceitos: Definição dos requisitos do sistema e concepção inicial. Esta etapa estabelece uma visão clara do projeto entre as equipes e os stakeholders.
2. Fase de Realizações: Inclui o desenho do sistema, o desenvolvimento das classes, a codificação e os testes. Cada componente é desenvolvido, integrado e validado individualmente.
3. Fase de Finalizações: Conclusão com a verificação e validação do sistema integrado, garantindo que todos os requisitos e necessidades do cliente sejam atendidos.

Adicionalmente, a arquitetura do software é construída em três camadas:

- Camada de Banco de Dados: Implementada em SQL com o SGBD Postgres 10.1.
- Camada de Persistência de Dados: Desenvolvida usando *Laravel 6.5* e *PHP 7.2*, facilita a interação entre o banco de dados e as aplicações web e mobile, capturando e disponibilizando dados dos sensores em formato *JSON*.
- Aplicações Cliente: Interfaces web e mobile que permitem aos usuários acessar e interagir com os dados em tempo real.

O diagrama da arquitetura do sistema de software foi estruturado em três camadas distintas para facilitar a integração e o funcionamento harmonioso do sistema. A base de dados, implementada em *SQL* com o *SGBD Postgres 10.1*, constitui a camada mais baixa. Em seguida, na camada de persistência de dados, o webservice foi desenvolvido usando *Laravel 6.5* e *PHP 7.2*, conectando-se ao banco de dados e facilitando a comunicação com as aplicações *web e mobile*. Esta camada é responsável por capturar dados dos sensores em formato *JSON* e disponibilizá-los para as aplicações cliente, completando assim a arquitetura integrada do sistema, conforme ilustrado na figura 5.

Figura 5 – Diagrama de Arquitetura de Software.



Fonte: O Autor (2023).

Esta metodologia robusta e a arquitetura de software bem definida asseguram que o sistema seja não apenas eficiente, mas também escalável e adaptável a diferentes ambientes e requisitos de monitoramento.

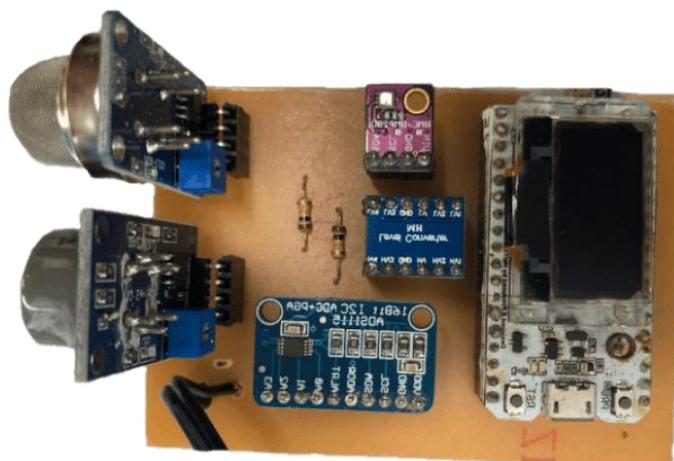
III. RESULTADOS

Os resultados alcançados nesta pesquisa demonstram a eficácia do sistema de monitoramento e controle de gás, fumaça, umidade e temperatura, utilizando as tecnologias de Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA). O sistema desenvolvido mostrou-se altamente eficiente na detecção e gerenciamento de variáveis ambientais, tendo um impacto significativo na segurança e na operacionalidade dos ambientes monitorados. A seguir, são detalhados os principais resultados obtidos com a implementação deste sistema:

1. Configuração e Funcionamento dos Módulos:

- Organização e Componentes: A figura 6 ilustra a organização de cada módulo do sistema. Foi desenvolvida uma placa de circuito impresso (PCB) que serve como base para a montagem dos componentes eletrônicos, assegurando a comunicação e o funcionamento adequados dos sensores e do microcontrolador *ESP32*, que é responsável por enviar as leituras para o *Raspberry Pi*.

Figura 6 - Vista superior do módulo sensor.



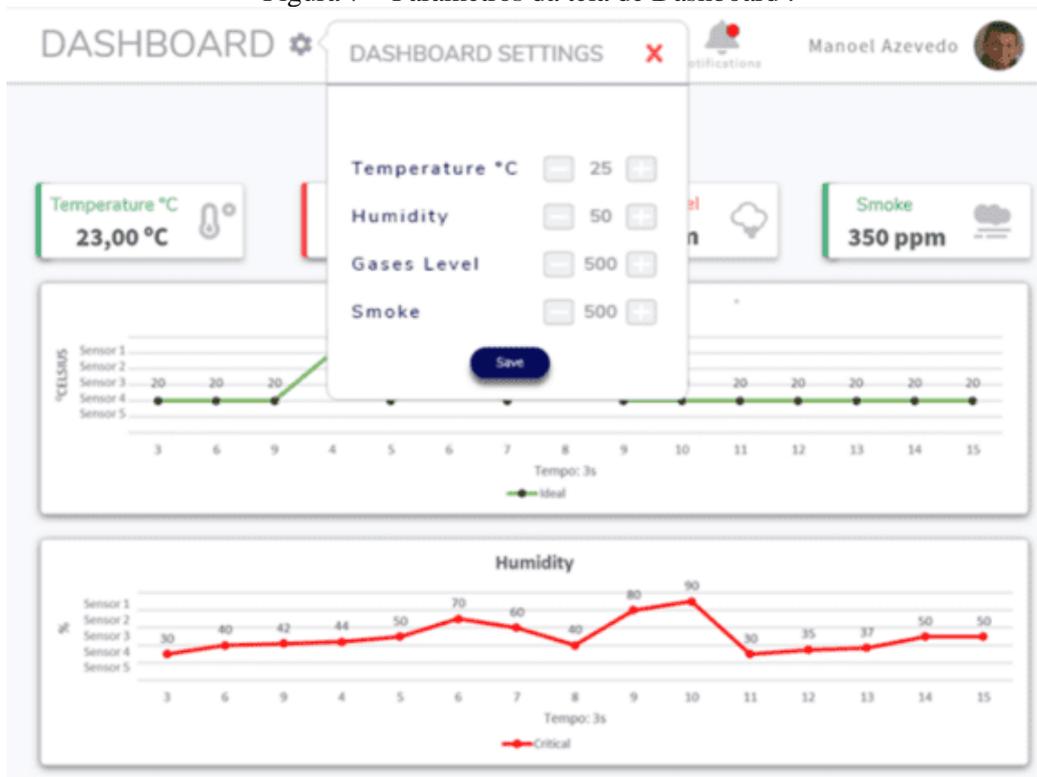
Fonte: Autores (2023).

- Captação de Dados: Os sensores realizam a leitura de variáveis como temperatura, gás, umidade e fumaça a cada 30 segundos, permitindo um monitoramento em tempo real e contínuo.

2. Interface de Usuário e Visualização de Dados:

- Dashboard: Os dados são apresentados em um dashboard intuitivo, onde são destacadas as últimas leituras de cada variável. Ao selecionar uma variável específica, o usuário é redirecionado para uma página com informações detalhadas. A figura 7 ilustra a interface do dashboard, incluindo gráficos que exibem as tendências das últimas 24 horas para cada variável monitorada.

Figura 7 – Parâmetros da tela de Dashboard .



Fonte: Autores (2023).

- Seleção de Dados: Para determinar qual leitura é destacada no dashboard, utiliza-se uma fórmula de gradiente que analisa a variação contínua de cada variável, garantindo que as informações mais relevantes sejam facilmente acessíveis.

3. Análise e Predição de Cenários:

- Análise de Dados: O sistema analisa continuamente os dados coletados para detectar qualquer desvio dos limites aceitáveis estabelecidos para as variáveis monitoradas.

- Classificação do Status: O status do ambiente é classificado como NORMAL ou CRÍTICO com base nas análises realizadas, permitindo intervenções rápidas e eficazes em situações de risco.

4. Comparação com Trabalhos Similares:

Estudos anteriores já exploraram áreas similares à desta pesquisa. Por exemplo, Vishwakarma e colaboradores (2019) desenvolveram um projeto de automação residencial empregando o protocolo *MQTT*. Neste projeto, uma Raspberry Pi serviu como broker, interligando sensores através do protocolo *Zigbee* e conexões físicas. O *MQTT* facilitou o acesso aos dados e mediou a comunicação entre os sensores e os usuários, que podiam interagir com o sistema por meio de uma interface web (Vishwakarma; Upadhyaya; Kumari; Mishra, 2019).

Em resumo, o sistema desenvolvido provou ser uma solução poderosa e eficaz para o monitoramento e controle de ambientes críticos, combinando tecnologias avançadas de *IoT* e *IA* para melhorar a segurança e a eficiência operacional. Estes resultados sublinham o potencial desta abordagem integrada para transformar a gestão de ambientes industriais, comerciais e residenciais.

IV. CONCLUSÃO

Este estudo culminou no desenvolvimento de um sistema de monitoramento inovador para detecção de gás e fumaça, destinado a aplicações em empresas, indústrias, hospitais, e outros ambientes críticos. O protótipo criado se distingue por sua eficácia e tranquilidade operacional, ultrapassando as soluções comumente disponíveis tanto no mercado nacional quanto internacional. Utilizando uma combinação de sensores avançados e uma robusta plataforma de captação de dados baseada no *Raspberry Pi* e na tecnologia *LoRa*, o sistema oferece uma abordagem mais precisa e eficiente para o monitoramento de condições ambientais perigosas.

Além de sua capacidade técnica, o sistema é complementado por um aplicativo móvel intuitivo, que facilita a interação dos usuários com os dados coletados, permitindo um controle e acompanhamento em tempo real dos níveis de gás e fumaça. Espera-se que esta solução traga melhorias significativas para a segurança e a qualidade dos ambientes monitorados, proporcionando uma resposta rápida e eficaz em situações de emergência.

O sucesso deste projeto reflete o potencial da integração de tecnologias de IoT e comunicação de longo alcance para revolucionar o monitoramento ambiental. Com a implementação deste sistema, abre-se a possibilidade de explorar novas aplicações e de adaptá-lo para atender a uma gama ainda mais ampla de necessidades industriais e comerciais, garantindo um ambiente mais seguro e bem monitorado.

V. REFERÊNCIAS

DA SILVA, L. H. B.; SILVA, L. C. G.; DA SILVA, J. L. F.; LINS, R. P. *et al.* Gerenciamento de dispositivos IoT em ambientes industriais: mapeamento sistemático da literatura. **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, 2022.

DE OLIVEIRA, T. C.; LIMA, E. C. S. Uma Aplicação Web para Monitoramento e Alerta de Altas Temperaturas, GAS GLP e Fumaça de uma Residência. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, 8, n. 4, p. 1964-1979, 2022.

GUEDES, E.; AZEVEDO, M.; LEITE, J.; COSTA, A. *et al.* Desenvolvimento de um Sistema Automatizado para Alimentação de Linhas de Produção de Rádios Automotivos Intrínseco à Indústria 4.0. **Revista Sodebras [on line]**, 14, n.157, p. 72-76, Jan./2019. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.14.2019.157.72>

MARTINS, V. F. **Automação residencial usando protocolo MQTT, Node-RED e Mosquitto Broker com ESP32 e ESP8266**. 2019.

OLIVEIRA, J. B. d. **Simulação computacional: análise de um sistema de manufatura em fase de desenvolvimento**. 2007.

PELOZO, A. L.; OLIVERO, C. S. **Estudo sobre a integração de IoT e cloud computing para ambientes residenciais**. 2020.

RIBEIRO, B. B. **Monitoramento de temperatura, umidade e gases em data centers**. 2020.

VISHWAKARMA, S. K.; UPADHYAYA, P.; KUMARI, B.; MISHRA, A. K., 2019, Smart energy efficient home automation system using IoT. **IEEE**. 1-4.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus, pois sem ele sabe e permite todas as coisas; Agradecer à Universidade do Estado do Amazonas e ao Instituto Projeta Planeta ciência, Tecnologia e Inovação Sustentável pelas parcerias e apoio.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído artigo.