



# IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE CARGA PARA CONTROLE DO AQUECIMENTO DE ÁGUA NO SETOR HOTELEIRO

Alex Alves de Souza<sup>1</sup>, Herbert Oliveira Rocha<sup>1</sup>, Leandro Nelinho Balico<sup>1</sup>, Humberto D. de Andrade<sup>2</sup>, Daimam Darlam Zimmer<sup>3</sup>, Francisco Diego Martins Nobre<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Roraima (UFRR) – Boa Vista – RR – Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia e Tecnologia – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Mossoró – RN - Brasil

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Elétrica– Universidade Federal de Roraima (UFRR) – Boa Vista – RR – Brasil

alexalvess.tecnico@gmail.com, herbert.rocha@ufrr.br, leandro.balico@ufrr.br, humbertodionisio@ufersa.edu.br, daimam.zimmer@ufrr.br, diego.nobre@ufrr.br

**Resumo.** A automação de sistemas de aquecimento em edificações ainda enfrenta limitações técnicas e financeiras, especialmente em instalações com infraestrutura legada. Este estudo teve como objetivo desenvolver um sistema de gerenciamento de cargas para o controle do aquecimento de água em um hotel utilizando ESP32 e Node-RED. A solução desenvolvida permite o controle automático e monitoramento remoto do sistema. O planejamento da pesquisa envolveu testes em bancada e validação em ambiente real. Os resultados indicaram redução do tempo de operação dos equipamentos, redução do consumo de energia elétrica e maior visibilidade do sistema. O estudo demonstra a viabilidade de soluções *IoT* de baixo custo para automação predial.

**Abstract.** *The automation of heating systems in buildings still faces technical and financial limitations, especially in facilities with legacy infrastructure. This study aimed to develop a load management system for controlling water heating in a hotel using ESP32 and Node-RED. The developed solution enables automatic control and remote monitoring of the system. The research planning involved bench testing and validation in a real environment. The results indicated a reduction in equipment operating time, a decrease in electrical energy consumption, and improved system visibility. The study demonstrates the feasibility of low-cost IoT solutions for building automation.*

## 1. Introdução

Diante do aumento do consumo energético e da necessidade de maior eficiência operacional, cada vez mais o gerenciamento de cargas tem se tornado um componente essencial em sistemas automatizados e ambientes conectados. Em aplicações industriais e residenciais, práticas avançadas de gerenciamento permitem monitorar, controlar e otimizar o acionamento de equipamentos, reduzindo desperdícios, prevenindo sobrecargas e prolongando a vida útil de dispositivos elétricos. Segundo Zhao et al. (2021), arquiteturas inteligentes de gerenciamento possibilitam a análise contínua de consumo e o acionamento dinâmico de cargas com base em contexto, priorização ou demanda energética. Assim, o gerenciamento de cargas deixa de ser apenas uma prática de controle elétrico e passa a assumir papel estratégico na eficiência energética, sustentabilidade e confiabilidade de sistemas inteligentes.

A implementação de sistemas automáticos em empresas, indústrias e edificações, especialmente aquelas com instalações antigas, exige reformas estruturais, substituição de equipamentos antigos e investimentos elevados em controladores, sensores e infraestrutura de comunicação, o que dificulta a adoção de soluções avançadas de automação (Silva, 2023; Santos & Rodrigues, 2022). Nesse contexto, a adoção de plataformas de baixo custo como o ESP32 torna-se uma alternativa viável, pois combina conectividade *Wi-Fi/BLE*, capacidade de processamento e suporte a sensores e atuadores a um custo acessível. Para pequenas e médias organizações, o uso de microcontroladores com *IoT* (Internet das Coisas) de baixo custo reduz barreiras financeiras e permite a criação de sistemas de gerenciamento de cargas modularizados e escaláveis, possibilitando aplicações em diversas situações e cenários sem a necessidade de investimentos elevados em soluções proprietárias de automação.

Diante desse cenário, este estudo propõe o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de cargas de baixo custo aplicado ao controle de aquecimento de água em hotéis, utilizando um ESP32, módulos relé e sensores de temperatura para automatizar o acionamento de bombas de recirculação e aquecedores elétricos. A contribuição central deste trabalho consiste em demonstrar que soluções baseadas em microcontroladores *IoT* podem mitigar barreiras financeiras e estruturais que historicamente dificultam a adoção de sistemas automáticos em edificações e empreendimentos comerciais. O restante deste artigo está organizado da seguinte forma: a seção de Fundamentação Teórica apresenta os conceitos, componentes e dispositivos empregados no desenvolvimento da solução; a seção de Trabalhos Relacionados realiza um mapeamento sistemático da literatura recente sobre automação e gerenciamento de cargas; a seção de Solução Computacional descreve em detalhes a implementação do dispositivo proposto; a seção de Planejamento da Pesquisa expõe o projeto do sistema e suas validações teóricas; a seção de Resultados e Discussão apresenta os dados obtidos após a implementação no local; e, por fim, a seção de Conclusão que sintetiza as contribuições consequentes deste trabalho.

## 2. Fundamentação teórica

### 2.1. Internet das Coisas

A *Internet das Coisas* refere-se à integração de dispositivos físicos capazes de coletar, processar e trocar dados por meio de redes de comunicação, permitindo que objetos do cotidiano atuem de forma inteligente e conectada. Para Ashton (2009), que cunhou o termo, a *IoT* representa uma extensão natural da internet ao mundo físico, viabilizada por sensores, atuadores e sistemas embarcados capazes de monitorar o ambiente e interagir autonomamente com outros dispositivos. Já Gubbi et al. (2013) destacam que a *IoT* envolve uma arquitetura composta por sensoriamento distribuído, comunicação em rede, processamento de dados e serviços baseados em nuvem, possibilitando aplicações em áreas como automação residencial, manufatura, saúde, agricultura e cidades inteligentes.

### 2.2. Regulamentação

A ANATEL, por meio do Regulamento de Avaliação da Conformidade, estabelece requisitos técnicos obrigatórios para certificação de dispositivos que utilizam radiofrequência, como *Wi-Fi*, *Bluetooth* e *LoRa*, garantindo segurança e compatibilidade eletromagnética (ANATEL, 2020). Além disso, o Plano Nacional de Internet das Coisas, instituído pelo Decreto nº 9.854/2019, orienta políticas públicas voltadas ao desenvolvimento seguro, interoperável e padronizado do ecossistema *IoT* no país (Brasil, 2019). No cenário internacional, destacam-se normas como a ISO/IEC 30141:2018, que apresenta uma arquitetura de referência para

sistemas *IoT*, a IEEE 2413-2019, que define padrões estruturais e requisitos de segurança e interoperabilidade, e a ETSI EN 303 645, que estabelece práticas de segurança mínima para dispositivos conectados (ISO, 2018; IEEE, 2019; ETSI, 2020). Em conjunto, essas regulamentações fornecem bases técnicas e legais fundamentais para o desenvolvimento de soluções *IoT* seguras, confiáveis e aderentes às melhores práticas internacionais.

### 2.3. ESP32

O ESP32 é um sistema-em-chip (SoC) de 32 bits desenvolvido pela Espressif, projetado para aplicações de Internet das Coisas (*IoT*) e sistemas embarcados que demandam conectividade e baixo consumo de energia. Ele integra um ou dois núcleos Xtensa LX6, além de diversos periféricos internos, mas seu principal diferencial está nos módulos de comunicação embarcados: *Wi-Fi* 802.11 b/g/n e *Bluetooth* v4.2 + *Bluetooth Low Energy* (BLE), que permitem interação direta com redes locais, dispositivos móveis e outros sensores ou atuadores conectados (Espressif Systems, 2023). Essa combinação de processamento eficiente e múltiplas interfaces de comunicação torna o ESP32 adequado para automação residencial, monitoramento remoto, dispositivos industriais inteligentes e soluções de baixa complexidade que exigem operação contínua e conectada.

### 2.4. Node-Red

O Node-RED é uma plataforma open-source de programação visual orientada a fluxo (“*flow-based programming*”) que facilita a integração entre dispositivos de *hardware*, APIs e serviços *online*, sendo amplamente utilizada em projetos de *Internet* das Coisas e automação. Através de seu editor baseado em navegador, o usuário pode conectar “nós” representando entradas (como sensores), processamentos (lógica, cálculos) e saídas (atuadores, banco de dados ou interfaces), montando fluxos de dados com poucos cliques, sem necessidade de codificação extensa (OpenJS Foundation & Contributors, 2025; ICM C. USP, 2025). Por ser construído sobre Node.js, o Node-RED opera de forma leve e eficiente, podendo ser executado em *hardware* de baixo custo ou no “*edge*” da rede — característica que o torna adequado para integração com microcontroladores ou sistemas embarcados, como o ESP32, ou para uso em ambientes de automação doméstica, predial ou industrial (OpenJS Foundation & Contributors, 2025; GeeksforGeeks, 2024).

### 2.5. Módulo Relé

O módulo relé é um dispositivo amplamente utilizado em projetos de automação residencial e industrial para realizar o acionamento de cargas elétricas por meio de microcontroladores, como Arduino e ESP32. Cada canal do módulo possui um relé eletromecânico capaz de comutar tensões e correntes mais altas do que aquelas suportadas pelos circuitos lógicos, permitindo controlar equipamentos como lâmpadas, motores e eletrodomésticos sem que o microcontrolador seja exposto a riscos elétricos. Segundo Saini e Kaur (2020), módulos de relé oferecem isolamento elétrico — geralmente por meio de optoacopladores — garantindo segurança e estabilidade na interface entre sinais de controle de baixa tensão e cargas de alta potência.

### 2.6. Sensor de temperatura NTC

O sensor NTC (*Negative Temperature Coefficient*) é um tipo de termistor amplamente utilizado em medições de temperatura devido à sua alta sensibilidade e baixo custo. Seu princípio de funcionamento baseia-se na variação da resistência elétrica conforme a temperatura aumenta: em termistores NTC, a resistência diminui exponencialmente com o aumento da temperatura,

característica que permite medições precisas em faixas moderadas e aplicações de resposta rápida (Thermistor Sensor Working, 2019).

## 2.7. Display LCD com Módulo i2c

O *display* LCD 16×2 com módulo I2C é amplamente utilizado em sistemas embarcados para exibir informações textuais de forma simples e eficiente, permitindo apresentar até duas linhas de 16 caracteres cada. O módulo I2C acoplado ao display substitui as várias conexões paralelas necessárias no LCD padrão por apenas dois pinos de comunicação (SDA e SCL) o que reduz significativamente a quantidade de fios e facilita a integração com microcontroladores como Arduino e ESP32.

## 3. Trabalhos relacionados

Foi conduzida uma revisão da literatura em 2025 a partir de buscas em bases multidisciplinares utilizando termos como *smart building*, *IoT load control*, *building automation retrofit* e *energy management in hotels*. Foram identificadas diversas pesquisas recentes, das quais foram selecionadas cinco por apresentarem maior aderência ao tema deste trabalho.

O estudo *Challenges to the Adoption of Smart Building Systems: A Property Management Perspective* (2023) investigou obstáculos à adoção de sistemas inteligentes em edifícios existentes. A partir de entrevistas com gestores prediais, os autores identificaram que o alto custo de implantação e a dificuldade de integrar tecnologias modernas em estruturas antigas são os principais entraves. Concluíram que, apesar dos benefícios, muitos projetos não avançam devido ao investimento inicial e às limitações de infraestrutura, ressaltando a ausência de soluções de baixo custo para *retrofit*.

Já *The Main Barriers Limiting the Development of Smart Buildings* (2024) realizou uma revisão sistemática dos desafios técnicos e econômicos na adoção de edifícios inteligentes, especialmente em países em desenvolvimento. O estudo destacou problemas de interoperabilidade, escassez de mão de obra especializada e altos custos de implementação. Como limitação, os autores apontam que o trabalho não descreve alternativas acessíveis para ambientes legados, reforçando a necessidade de soluções econômicas e modulares.

No estudo *Identifying and Assessing the Internet of Things Implementation Barriers for Sustainable Building Projects* (2025), os autores analisaram barreiras para implementação de *IoT* em reformas e construções. Os resultados mostram que limitações de rede, insegurança cibernética e custos de dispositivos dificultam a adoção de *IoT* em edificações. Os autores concluíram que o uso de *hardware* acessível e modular pode reduzir esses obstáculos, embora o estudo não explore aplicações específicas como o controle de cargas térmicas.

O trabalho *20 Years in Life of a Smart Building: A retrospective* (2025) apresentou uma análise longitudinal de soluções de automação baseadas em *hardware IoT* de baixo custo. Os autores identificaram desafios reais, como falhas de *hardware*, obsolescência e necessidade de manutenção contínua. Apesar disso, concluíram que sistemas acessíveis podem sustentar automação de longo prazo quando projetados para atualização incremental, embora a confiabilidade ainda seja um ponto crítico.

Por fim, *A Novel Emergency Light Based Smart Building Solution: Design, Implementation and Use Cases* (2020) demonstrou uma solução prática de automação predial utilizando infraestrutura existente e módulos *IoT* de baixo custo. O estudo mostrou que aproveitar estruturas já instaladas reduz custos e facilita a adoção da automação, embora o foco

tenha sido apenas em iluminação e não no controle de cargas de maior potência, como sistemas de aquecimento.

Com base nesses estudos, percebe-se que os principais desafios da automação predial envolvem custos elevados, dificuldade de integração em estruturas antigas e falta de soluções acessíveis. Contudo, nota-se uma lacuna quanto à aplicação prática de *IoT* de baixo custo para controle de cargas de aquecimento de água em hotéis ou edificações similares, lacuna essa que o presente trabalho busca suprir.

#### 4. Solução computacional

O dispositivo desenvolvido teve como objetivo gerenciar as cargas/equipamentos de um sistema de aquecimento de água de um hotel, possuindo um IHM (interface homem-máquina) e um *dashboard* para monitoramento do sistema.

O hotel já possuía um sistema de aquecimento de água implementado que consistia de: um *boiler*, para armazenar a água quente; dois aquecedores elétricos (um reserva do outro); um sistema de coletores solar (aquecimento da água por energia solar); duas bombas (uma reserva da outra) para recirculação de água entre *boiler* e aquecedores, chamadas de bombas de calor; duas bombas (uma reserva da outra) para recirculação de água entre *boiler* e coletores solar, chamadas de bombas de coletor; duas bombas (uma reserva da outra) para recirculação de água entre *boiler* e linha do hotel, chamadas de bombas de recirculação; um quadro de comando com o controlador de temperatura (apenas botões de configuração, sem tela); sensores de temperatura na linhas dos aquecedores, coletores e *boiler*. Na Figura 1 é mostrado o diagrama do sistema hidráulico instalado.

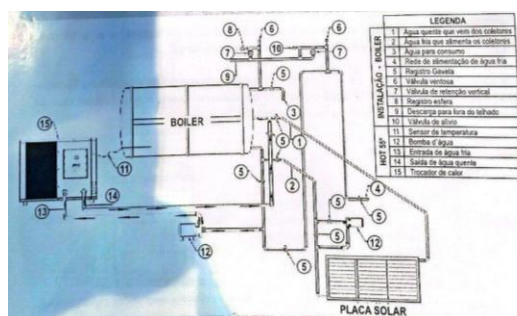


Figura 1. Sistema hidráulico de aquecimento de água. Fonte: (Jelly Fish, s.d.)

Apesar de tal sistema existir ele já não estava em funcionamento, havia diversas avarias nos componentes do quadro de comando, bem como inatividade do controlador e dos sensores de temperatura. O hotel ainda precisava de uma solução que pudesse monitorar o sistema em tempo real e remotamente, além da possibilidade da expansão para monitorar outros sistemas do hotel, como nível das caixas d'água e funcionamento das bombas de alimentação geral. Dada essa necessidade, foram pesquisados diversos microcontroladores (Arduino, ESP32, Raspberry pi) que pudessem se adequar ao sistema. Dentre os quais foi escolhido o ESP32, que possui qualidades como: ser de baixo custo, linguagem de programação fácil e acessível, conexão *Wireless* nativa, portas digitais e analógicas, diversos sensores e módulos disponíveis em mercado, além de possuir boa durabilidade, de anos, se mantido em condições amigáveis de temperatura e umidade (Al Rashid, 2024).

O sistema projetado é constituído de sensores de temperatura, relés, um *display* e o microcontrolador. Na Figura 2 é mostrado o diagrama FSM (máquina de estados finitos). Na



estiver com temperatura abaixo da temperatura configurada (temperatura mínima *boiler*) o sistema de aquecimento é ligado. O sistema de aquecimento foi dividido em aquecimento por coletores solar e aquecimento por aquecedores elétricos. Caso a temperatura dos coletores esteja acima da temperatura inicialmente configurada (temperatura mínima para aquecimento com coletores), uma das bombas dos coletores é acionada, assim aquecendo a água do *boiler*. Caso a temperatura do *boiler* atinja a temperatura máxima configurada, a bomba é desligada. Caso a temperatura dos coletores fique abaixo da temperatura mínima pré-determinada o aquecimento do sistema é feito pelos aquecedores elétricos. Nesse caso um dos aquecedores é acionado, juntamente com uma das bombas de calor. Caso a temperatura do *boiler* atinja a temperatura máxima configurada, a bomba de calor e o aquecedor são desligados. Em relação a água de recirculação do hotel, caso a temperatura da água da linha esteja abaixo da mínima configurada (temperatura mínima de recirculação), uma das bombas de recirculação é acionada, mantendo-se ligada até que a água atinja a temperatura máxima pré-configurada.

As temperaturas do sistema, bem como o status de operação dos equipamentos são mostradas em tempo real no *display* do painel e no *dashboard online*. Para o desenvolvimento do *dashboard*, utilizou-se a plataforma Node-RED, escolhida por ser gratuita, amplamente utilizada em aplicações *IoT* e por permitir a criação de interfaces de monitoramento de forma intuitiva, sem exigir conhecimentos avançados de desenvolvimento *web*. A Figura 5 mostra o *dashboard* elaborado.

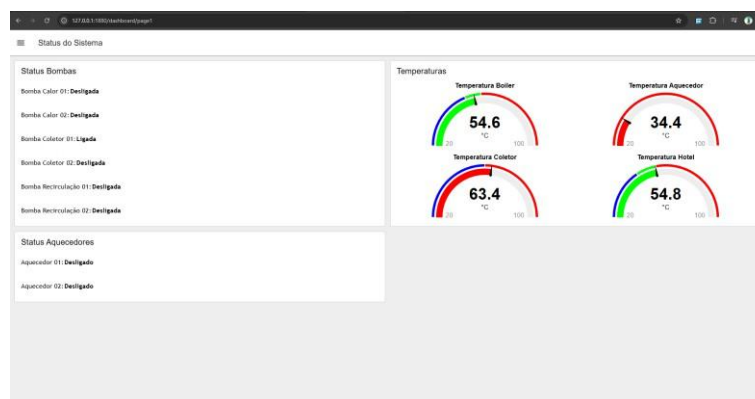


Figura 5. *Dashboard* do sistema. Fonte: autoria própria

## 5. Avaliação experimental

### 5.1. Planejamento da pesquisa

O planejamento da pesquisa teve como finalidade definir como os dados necessários seriam coletados para validar o artefato desenvolvido e responder às perguntas de pesquisa. Inicialmente, foram conduzidos testes em bancada para verificar a integridade das leituras dos sensores, a estabilidade da comunicação *Wi-Fi*, o correto acionamento dos módulos relé e o comportamento do microcontrolador sob funcionamento contínuo. Esses testes funcionais permitiram assegurar que o *hardware* e o *software* apresentassem desempenho adequado antes da instalação em ambiente real.

Na etapa seguinte, o sistema foi instalado no hotel para avaliação em condições reais de uso, permitindo a coleta de dados contínuos sobre temperatura, acionamento das bombas e aquecedores e variações operacionais do sistema. Os dados transmitidos ao Node-RED possibilitaram analisar padrões de acionamento e verificar a eficiência do gerenciamento de cargas, especialmente na redução do tempo de funcionamento dos equipamentos e na

estabilidade do sistema sob operação prolongada. A combinação de testes em bancada e em campo garante confiabilidade na avaliação do artefato e permite que os resultados obtidos sejam, em alguma medida, generalizáveis para outras aplicações de automação predial de baixo custo.

## 5.2. Resultados e discussões

O novo sistema foi implementado de fato no hotel no mês de agosto de 2025. O sistema consistia de: um ESP32; um módulo relé de 8 canais; quatro sensores de temperatura NTC; *display* LCD 16x2 com módulo I2C; fonte 12V 2A; DPS (dispositivo de proteção contra surtos) classe III e uma ventoinha. Esses componentes mencionados compõem apenas o CLP (controlador lógico programável), que foi instalado em um quadro metálico 30x30x20cm (com IP54). O quadro de comando antigo foi refeito, sendo readequado para trabalhar com o sistema via acionamento CLP e também com a possibilidade de ser acionado manualmente caso necessário. Em decorrência de questões internas do hotel, não foi possível implementar o *dashboard*. A Figura 6 mostra o diagrama do CLP construído, as Figuras 7, 8 e 9 mostram os diagramas de força e comando construídos.

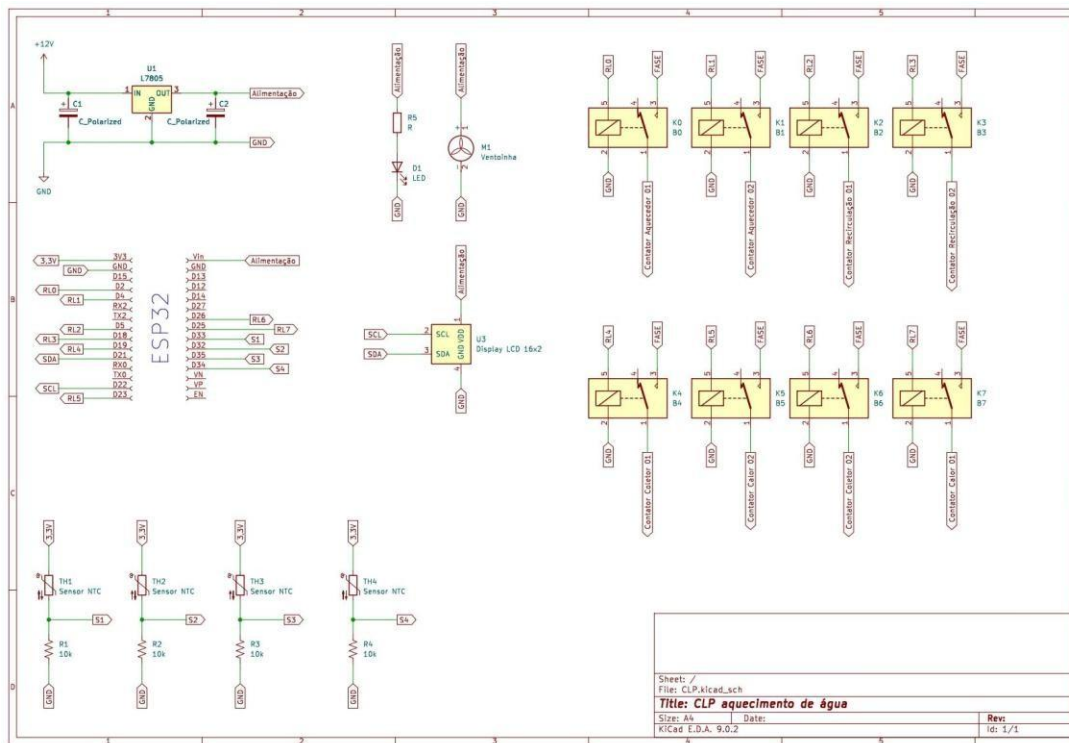
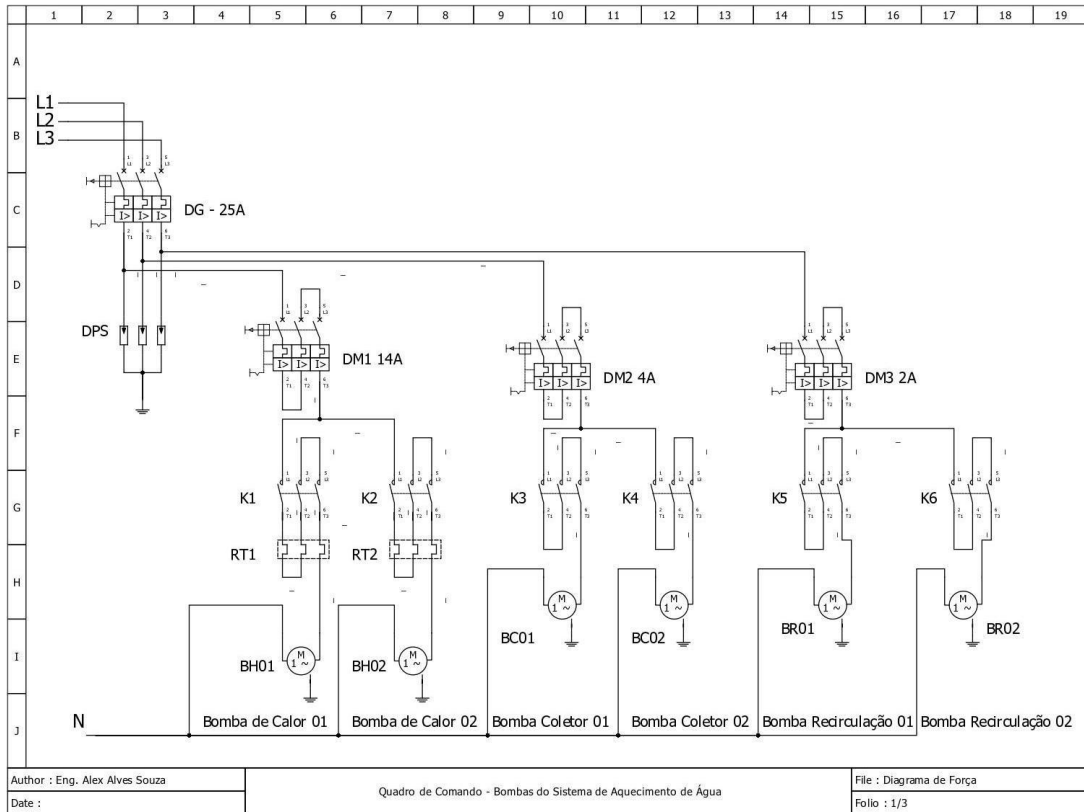
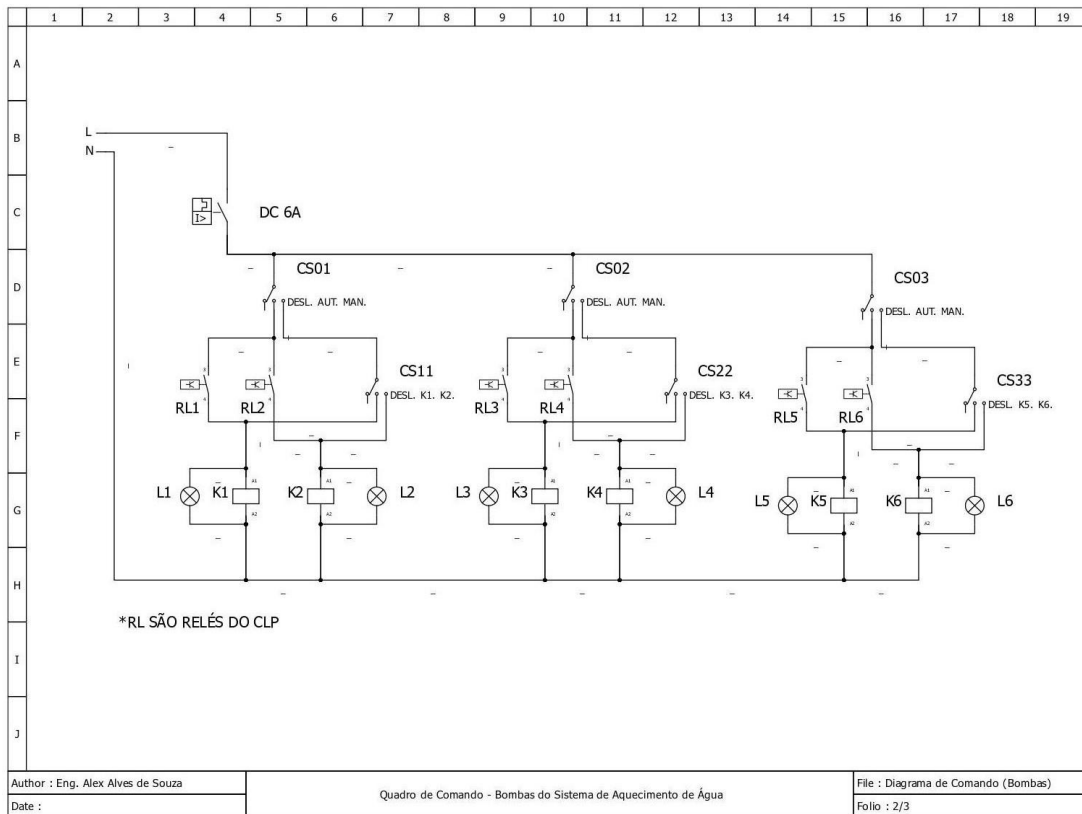


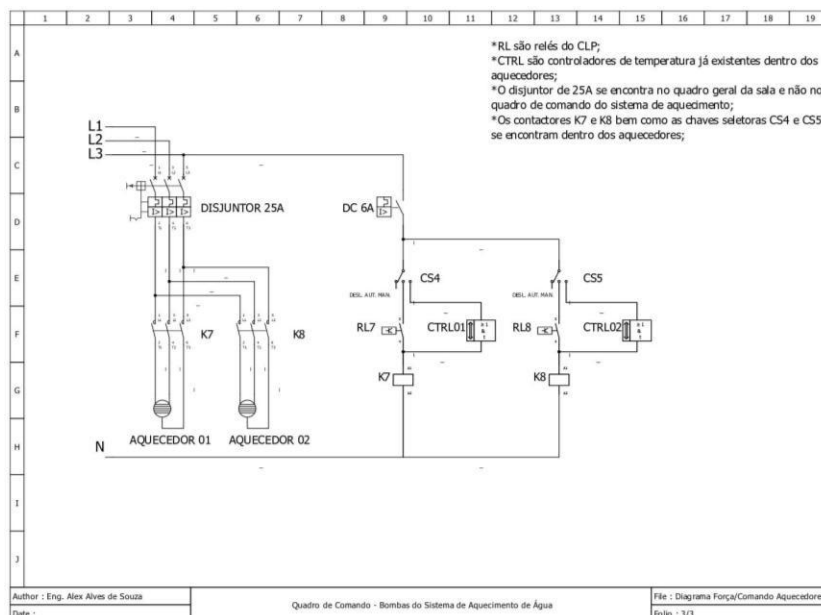
Figura 6. Circuito do CLP. Fonte: autoria própria



**Figura 7. Diagrama de força. Fonte: autoria própria**



**Figura 8. Diagrama de comando. Fonte: autoria própria**



**Figura 9. Diagrama força/comando dos aquecedores. Fonte: autoria própria**

Como pode ser visto no diagrama do quadro de comando, existem duas chaves seletoras para cada conjunto de bombas, sendo uma chave para selecionar qual bomba será acionada e outra chave para selecionar se será partida de maneira automática (via CLP) ou manual. Desta forma, em caso de falhas ou manutenção, o operador pode utilizar o sistema de maneira manual. Em relação aos aquecedores seus circuitos de força e comando estão dentro dos próprios equipamentos, mas também possuindo uma chave seletora para acionamento automático ou manual.

O sistema anterior estava trabalhando da seguinte forma: apenas uma das bombas de calor estava funcionando, mas que permanecia ligada sem qualquer interrupção; as bombas dos coletores e de recirculação não acionavam em nenhum momento; apenas os aquecedores possuíam módulos para controle de temperatura (interno), que controlavam o acionamento dos mesmos. Em decorrência disso, havia um alto custo energético além do aquecimento ineficiente da água. A Tabela 1 compara os consumos energéticos do hotel nos anos de 2024 e 2025, nos meses entre agosto (mês que foi implementado o sistema) e dezembro.

**Tabela 1. Comparação consumos mensais**

<b>Histórico de Medição 2024/2025</b>			
<b>Mês</b>	<b>Consumo Ano 2024 - sem sistema (kWh)</b>	<b>Consumo Ano 2025 - com sistema (kWh)</b>	<b>Resultados</b>
<b>Agosto</b>	57471	58473	<b>Aumento de 1,74%</b>
<b>Setembro</b>	70544	65649	<b>Redução de 7,46%</b>
<b>Outubro</b>	80574	65169	<b>Redução de 23,64%</b>
<b>Novembro</b>	71713	57608	<b>Redução de 24,48%</b>
<b>Dezembro</b>	49693	52332	<b>Aumento de 5,31%</b>

A comparação do consumo de energia elétrica entre os anos de 2024 e 2025 foi realizada considerando exclusivamente os meses de agosto a dezembro, uma vez que o sistema de gerenciamento de cargas foi implantado em agosto de 2025. Conforme apresentado na Tabela 1, observa-se que houve redução significativa do consumo energético nos meses outubro e novembro de 2025 em relação ao mesmo período de 2024. Ressalta-se que o sistema foi implementado ao longo do mês de agosto, o que pode explicar o pequeno aumento de 1,74%. Além disso, segundo informações fornecidas pela administração do hotel, no segundo semestre de 2025 houve aumento da carga instalada devido à incorporação de novas centrais de ar-condicionado, além da volatilidade no número de hóspedes ao longo do período analisado o que contribuiu para elevação pontual no consumo observada em dezembro. A Tabela 2 compara os alguns dados do sistema anterior com o novo sistema implementado.

**Tabela 2. Comparação dos sistemas**

	<b>Sistema antigo</b>	<b>Novo Sistema</b>
<b>Controle de temperatura do sistema</b>	Apenas controle de temperatura interno dos aquecedores elétricos	Controle de temperatura no <i>boiler</i> , aquecedores, coletores solares e recirculação do hotel
<b>Controle de acionamento das bombas</b>	Não havia	Todas as bombas são controladas via CLP com possibilidade de acionamento manual no quadro de comando
<b>Controle de acionamento dos aquecedores</b>	Apenas controle interno dos aquecedores	Aquecedores controlados via CLP
<b>Horas de funcionamento das bombas</b>	Bomba de calor ligada continuamente	Não foi implementada a função de monitorar o tempo de uso dos equipamentos. Mas houve redução significativa no tempo de funcionamento.

## 6. Conclusão

O objetivo deste estudo foi desenvolver um sistema de gerenciamento de cargas baseado em ESP32 e Node-RED para automatizar e monitorar o processo de aquecimento de água em um hotel que não possuía controle automático. A partir da implementação prática de um dispositivo composto por controlador *IoT*, módulos relé e sensores de temperatura, buscou-se solucionar a falta de automação e de visibilidade operacional no sistema existente. Os resultados demonstraram que a solução proposta permitiu o controle inteligente do acionamento das bombas do sistema e dos aquecedores elétricos, reduzindo o tempo de operação dos equipamentos e o consumo de energia. O sistema também foi projetado com suporte a

monitoramento remoto por meio de um *dashboard* baseado em Node-RED, o qual foi desenvolvido e validado em ambiente de bancada. Contudo, sua implantação no local não pôde ser realizada devido a questões internas do hotel.

Como trabalhos futuros, sugere-se a implementação do *dashboard* desenvolvido no ambiente real, possibilitando o monitoramento remoto em tempo real das temperaturas e do estado de operação dos equipamentos. Recomenda-se ainda a incorporação de sensores capazes de verificar o acionamento efetivo das bombas, permitindo a geração de alertas ou notificações em casos de falha de funcionamento. Além disso, a integração de um banco de dados para registrar o histórico de temperaturas e tempos de operação pode viabilizar análises mais precisas, identificação de padrões e suporte à tomada de decisão em estratégias de manutenção preventiva, ampliando a robustez e a aplicabilidade da solução em diferentes contextos de automação predial.

## 7. Referências

- Zhao, B., Zhang, X., Chen, T., & Li, Y. (2021). Intelligent load management in modern power systems: A review. *Energy Reports*, 7, 5846–5864. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.08.089>
- Ashton, K. (2009). That ‘Internet of Things’ thing. *RFID Journal*, 22(7), 97–114.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- Espressif Systems. (2023). *ESP32 Series: Datasheet*. Espressif Systems. [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- Saini, H., & Kaur, G. (2020). Relay-based switching systems for smart home applications. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*, 7(3), 45–49.
- Thermistor Sensor Working. (2019). *How thermistors work: Principles and applications*. Electronics Tutorials. <https://www.electronics-tutorials.ws/io/thermistors.html>
- ANATEL. (2020). *Regulamento de Avaliação da Conformidade e Homologação de Produtos para Telecomunicações*. Agência Nacional de Telecomunicações. <https://www.gov.br/anatel>
- Brasil. (2019). *Decreto nº 9.854, de 25 de junho de 2019 (Institui o Plano Nacional de Internet das Coisas)*. Diário Oficial da União.
- ETSI. (2020). *ETSI EN 303 645: Cyber Security for Consumer Internet of Things*. European Telecommunications Standards Institute. <https://www.etsi.org>
- IEEE. (2019). *IEEE 2413-2019: Standard for an Architectural Framework for the Internet of Things (IoT)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://standards.ieee.org>
- ISO. (2018). *ISO/IEC 30141: Internet of Things (IoT) — Reference Architecture*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org>
- Santos, R. M., & Rodrigues, P. A. (2022). Barreiras para adoção de tecnologias da Indústria 4.0 no setor metalmeccânico brasileiro. *Revista Produção Online*, 22(3), 1100–1125. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v22i3.5436>
- Silva, H. F. (2023). Desafios da automação inteligente em edificações brasileiras: Uma revisão da literatura. *Revista Inovações em Engenharia*, 8(1), 77–89.



- OpenJS Foundation & Contributors. (2025). *Node-RED: Low-code programming for event-driven applications*. <https://nodered.org>
- ICMC USP. (2025). *Aprenda a integrar dispositivos eletrônicos e digitais com o Node-RED*. ICMC USP Notícias. <https://icmc.usp.br>
- GeeksforGeeks. (2024). *Node-RED: Overview and usage in IoT and automation*. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/blogs/node-red/> GeeksforGeeks
- Affonso, E. O. T., Branco, R. R., Menezes, O. V. C., Guedes, A. L. A., Chinelli, C. K., Haddad, A. N., & Soares, C. A. P. (2024). *The main barriers limiting the development of smart buildings*. *Buildings*, 14(6), 1726. <https://doi.org/10.3390/buildings14061726>
- Tuwot, N. A. B., & Siaw-Chui, W. (2025). *Challenges to the Adoption of Smart Building Systems: A Property Management Perspective*. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 9(9), 3238–3246. <https://rsisinternational.org/journals/ijriss/articles/challenges-to-the-adoption-of-smart-building-systems-a-property-management-perspective/>
- Lee, S., Kim, H., & Park, J. (2025). *Identifying and assessing the Internet of Things implementation barriers for sustainable building projects*. *Journal of Building Engineering*, 92, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.110425>
- Abdelrahman, Y., Elsaid, A., & Omar, M. (2025). *20 Years in Life of a Smart Building: A retrospective*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2509.06229>
- Nadgowda, S., Cao, H., & Sharma, P. (2020). *A novel emergency light based smart building solution: Design, implementation and use cases*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2007.15906>
- Al Rashid, J. (2024). *Lifetime reliability modeling on EMC performance of digital microcontrollers*. *Microelectronics Reliability*, 151, 114105. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2024.114105>
- Jelly Fish. Manual do usuário - Linha hot: Jelly Fish, s.d.