

**Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza ETEC
Tereza Aparecida Cardoso Nunes de Oliveira**

ANDRÉ SANTOS FELIX
FILIPE MACENA DOS REIS ARAUJO
GABRIEL FONTES VIEIRA
GUILHERME LEONARDI MELERO
GUSTAVO CERQUEIRA INUCENCIO
MATHEUS MARQUES DE SOUZA

**MODELO EM MENOR ESCALA DE EDIFÍCIO INTELIGENTE COM SISTEMAS
INTEGRADOS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

São Paulo – SP 2025

**Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza ETEC Tereza Aparecida
Cardoso Nunes de Oliveira**

ANDRÉ SANTOS FELIX
FILIPE MACENA DOS REIS ARAUJO
GABRIEL FONTES VIEIRA
GUILHERME LEONARDI MELERO
GUSTAVO CERQUEIRA INUCENCIO
MATHEUS MARQUES DE SOUZA

**MODELO EM MENOR ESCALA DE EDIFÍCIO INTELIGENTE COM SISTEMAS
INTEGRADOS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL:**

Projeto apresentado como requisito da
disciplina Desenvolvimento de Trabalho de
Conclusão de Curso do Técnico de Nível
Médio em Automação
Prof. Eneias Zampoli Belan e Prof.
Francisco Maia Duarte

São Paulo – SP 2025

ANDRÉ SANTOS FELIX

FILIPPE MACENA DOS REIS ARAUJO

GABRIEL FONTES VIEIRA

GUILHERME LEONARDI MELERO

GUSTAVO CERQUEIRA INUCENCIO

MATHEUS MARQUES DE SOUZA

**MODELO EM MENOR ESCALA DE EDIFÍCIO INTELIGENTE COM SISTEMAS
INTEGRADOS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Projeto apresentado como requisito da
disciplina Desenvolvimento de Trabalho de
Conclusão de Curso do Técnico de Nível
Médio em Automação
Prof. Eneias Zampoli Belan e Prof.
Francisco Maia Duarte

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

Prof. _____

Assinatura _____

DEDICATÓRIA

*Dedicamos este trabalho a todos
que caminharam ao nosso lado,
que nos apoiaram, acreditaram e
jamais nos deixaram desistir.*

*Sem vocês, não estaríamos aqui,
encerrando este capítulo tão
marcante de nossas vidas.*

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, antes de tudo, aos nossos familiares, que foram nosso maior apoio durante essa caminhada. Cada palavra de apoio, cada gesto de compreensão e cada demonstração de confiança foram responsáveis para que este sonho se tornasse possível. Mesmo nos momentos de nervosismo, eles acreditaram em nós com uma força que, muitas vezes, ultrapassava a nossa própria. A eles, dedicamos não apenas este trabalho, mas todo o orgulho que sentimos por ter chegado até aqui.

Agradecemos também aos colegas que estiveram ao nosso lado ao longo desses três anos. Compartilhamos risadas, desafios, noites cansativas e pequenas vitórias que, construíram nossa trajetória. Que cada aprendizado vivido em grupo se torne parte da nossa história profissional e pessoal.

Nossa gratidão se estende de forma especial aos professores que marcaram profundamente esta jornada. Ao professor Enéias, que esteve conosco em cada etapa deste projeto, guiando-nos com dedicação, clareza e amizade. Sua presença constante e seu compromisso foram fundamentais para que este trabalho ganhasse

forma e significado, e sua postura acolhedora fez dele não apenas nosso coordenador, mas um verdadeiro amigo no processo.

Ao professor Francisco, que nos acompanhou desde o primeiro ano, oferecendo apoio, confiança e orientação contínua. Mais do que um professor, Francisco se tornou um amigo — alguém que acreditou em nós, que nos incentivou quando precisávamos e que esteve ao nosso lado nos momentos mais importantes dessa trajetória. Sua presença tornou nossa jornada mais leve e significativa.

À professora Danielle, que nos estendeu a mão nos momentos em que a programação parecia um obstáculo além do nosso alcance. Mesmo com pouco contato prévio com essa área, foi graças ao seu apoio, sua paciência e sua capacidade de explicar o complexo de forma simples que conseguimos alcançar os resultados desejados. A todos os professores que contribuíram para nossa formação, deixamos registrado nosso mais sincero e profundo agradecimento. Cada ensinamento recebido ecoa neste trabalho e em cada passo que damos rumo ao futuro.

A todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta conquista, nosso muito obrigado.

“A função da educação é ensinar a pensar intensamente e pensar criticamente.

Inteligência mais caráter: esse é o objetivo da verdadeira educação”

Martin Luther King Jr.

RESUMO

A automação predial vem se destacando como uma alternativa eficiente para aumentar o conforto, a segurança e a praticidade em edificações modernas. Embora amplamente associada a grandes empreendimentos, sua aplicação pode ser demonstrada de forma didática por meio de modelos reduzidos que integram diferentes tecnologias. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um modelo em menor escala de um edifício inteligente, projetado para reunir, em um único sistema funcional, diversos subsistemas de automação predial. O projeto inclui um elevador automatizado controlado por CLP, um sistema de garagem operado por atuadores pneumáticos e sensores indutivos, além de um sistema de iluminação gerenciado por microcontrolador ESP32 com comunicação Bluetooth Low Energy. Também foi desenvolvido um aplicativo web, o CondoManager, que permite o controle remoto da iluminação através de uma interface intuitiva instalada em dispositivos móveis.

A implementação envolveu a montagem da estrutura física em MDF, a instalação de sensores e atuadores, a programação em linguagem Ladder para o CLP e a criação de uma Progressive Web App para interação com o ESP32. Os testes realizados demonstraram que todos os subsistemas funcionam de maneira integrada, com respostas rápidas e comportamento estável. Com isso, o modelo atingiu os objetivos propostos, servindo como uma ferramenta prática para ilustrar conceitos de automação industrial e predial. O projeto ainda possibilita expansões futuras, permitindo a adição de novos módulos, otimização do aplicativo e adaptação para cenários mais próximos de aplicações reais.

Palavras-chave: Automação Predial. CLP. ESP32.

ABSTRACT

Building automation has become an effective solution for increasing comfort, safety, and convenience in modern environments. Although commonly associated with large commercial systems, its concepts can be demonstrated in a didactic way through scaled models that integrate different technologies. This work presents the development of a small-scale smart building model designed to combine multiple building automation subsystems into a single functional system. The project includes an automated elevator controlled by a PLC, a garage system operated by pneumatic actuators and inductive sensors, and a lighting system managed by an ESP32 microcontroller using Bluetooth Low Energy communication. A web application, named

CondoManager, was also developed to allow remote lighting control through an intuitive interface accessible from mobile devices.

The implementation involved constructing the physical structure in MDF, installing sensors and actuators, programming the PLC using Ladder language, and developing a Progressive Web App to communicate with the ESP32. Tests showed that all subsystems operate in an integrated and stable manner, with fast response times and reliable performance. The final prototype achieved the proposed objectives, serving as a practical educational tool to illustrate concepts of industrial and building automation. The system also allows future expansion through the addition of new modules, improvements to the application, and adaptations for more realistic scenarios.

Keywords: Building Automation. PLC. ESP32.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - LED	27
Figura 2 - ESP32.....	28
Figura 3 - Cilindro de Dupla Ação.....	30
Figura 4 - Compressor de Ar.....	31
Figura 5 - Válvula 5/2 com Solenóide.....	32
Figura 6 - Placa PCB Ilhada	34
Figura 7 - Sensor Indutivo.....	35
Figura 8 - Sensor Óptico	37
Figura 9 - CLP	38
Figura 10 - IHM.....	40
Figura 11 - Relé Sensor Fotocélula	41
Figura 12 - Prédio + Elevador (Início do Projeto).....	43
Figura 13 - Elevador.....	45
Figura 14 - Programação Elevador.....	46
Figura 15 - Login CondoManager.....	47
Figura 16 - Controle de Iluminação CondoManager.....	48
Figura 17 - Programação CondoManager.....	49
Figura 18 - Programação Garagem + Portão.....	50

Quadro 1 - Periféricos do ESP32
30 **SUMÁRIO**

1	INTRODUÇÃO.....	12	
1.1	O PROBLEMA	13	
1.2	OBJETIVOS	13	
1.2.1	OBJETIVO	15	GERAL
1.2.2	OBJETIVOS	13	ESPECÍFICOS
1.3	DELIMITAÇÃO DO	14	ESTUDO
1.4	RELEVÂNCIA DO	15	ESTUDO
1.5	ORGANIZAÇÃO DO	15	TRABALHO
2	REVISÃO DA LITERATURA	17	
2.1	O QUE É	17	AUTOMAÇÃO
2.2	AUTOMAÇÃO PREDIAL E EDIFÍCIOS	18	INTELIGENTES
2.3	ARQUITETURA DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PREDIAL	19	
2.3.1	Camada de	19	Campo
2.3.2	Camada de	19	Automação
2.3.3	Camada de	20	Gerenciamento
2.4	CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS	20	(CLPs)
2.4.1	Funcionamento	20	CLPs

2.4.2 Aplicações	21
2.4.3 Programação em Ladder	21
2.5 SISTEMAS PNEUMÁTICOS EM APLICAÇÕES PREDIAIS	22
2.5.1 Aplicações em Automação Predial	22
2.6 DISPOSITIVOS MÓVEIS E DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS	23
2.6.1 Front-End e Aplicações Web Progressivas (PWA)	23
2.6.2 Sistemas Embarcados e a Plataforma ESP32	24
2.6.3 Comunicação Sem Fio: Bluetooth Low Energy (BLE) e WebBluetooth API	25
2.6.4 Integração Prática na Automação Predial	25
PROPOSIÇÃO	27
4	4
DESENVOLVIMENTO	28
4.1 MATERIAIS	28
4.1.1 LED	28
4.1.2 Microcontrolador ESP32	29
4.1.3 Cilindro Pneumático	31
4.1.4 Compressor de Ar	33
4.1.5 Válvula Pneumática 5/2 vias com Acionamento por Solenoide	34
4.1.6 Placa PCB Ilhada	35

4.1.7	Sensor Indutivo	37
4.1.8	Sensor Óptico	38
4.1.9	CLP (Controlador Lógico Programável)	39
4.1.10	IHM (Interface Homem-Máquina)	41
4.1.11	Relé Sensor Fotocélula.....	43
4.2	PROJETO	44
4.2.1	Contexto	44
4.2.2	Estrutura	44
4.2.3	Elevador	46
4.2.4	CondoManager	49
4.2.5	Garagem + Portão	52
5	RESULTADOS	54
5.1	Funcionamento Integrado do Sistema	54
5.2	Avaliação de Desempenho	55
5.3	Limitações	55
5.4	Contribuições do Trabalho	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica tem promovido transformações profundas em diversos setores do mundo, e o ambiente urbano e residencial não é exceção. O conceito de smart buildings, ou edifícios inteligentes, surge como uma tendência central neste contexto, querendo otimizar o uso de recursos, aumentar a segurança e promover maior conforto e praticidade para os usuários através da automação e integração de sistemas. No centro desta transformação, encontram-se tecnologias consolidadas da automação industrial, como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), e conceitos modernos da Internet das Coisas (IoT), que permitem o monitoramento e controle remoto via dispositivos móveis.

Este trabalho encontra-se na comunicação entre esses dois mundos. Enquanto a literatura e o mercado frequentemente abordam soluções exclusivas para cada sistema (iluminação, acesso, elevadores), existe uma carência de projetos didáticos que demonstrem de forma tangível a integração entre eles, replicando de uma forma didática um cenário de automação predial. Este problema é particularmente relevante na formação do técnico em Automação Industrial, que deve estar apto a compreender e projetar soluções que vão desde o chão de fábrica até aplicações civis inteligentes.

Neste sentido, o estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento e a integração de um modelo em escala funcional de um condomínio inteligente. O projeto engloba sistemas independentes, mas comunicantes: um sistema de iluminação automatizada controlado via aplicativo móvel, um elevador programado em Ladder para CLP, e uma garagem inteligente com portão automático e controle de vagas. A importância deste trabalho reside na sua aplicação prática como ferramenta de aprendizado, demonstrando na íntegra os princípios de elétrica, pneumática, programação de CLPs, desenvolvimento de interfaces e comunicação de dados, pilares do curso de Automação Industrial.

É importante ressaltar que o projeto, por se tratar de um modelo em escala menor, possui limitações. A escolha de componentes como microcontroladores ESP32 para iluminação e CLPs para os sistemas de força (elevador e garagem) procurou equilibrar a parte técnica com os custos, funcionando como uma prova de conceito sólida, mas que ainda pode ser ampliada.

1.1 O PROBLEMA

A automação predial, baseada no conceito de smart buildings, é um campo em expansão impulsionado pela busca de eficiência energética, segurança e conveniência. No entanto, muitos edifícios ainda operam com sistemas manuais e pouco integrados, o que gera ineficiência, alto consumo de energia e desafios de manutenção.

A implementação de tecnologias integradas, como a Internet das Coisas (IoT), enfrenta barreiras como falta de conhecimento técnico, custos iniciais e resistência à mudança. Paralelamente, o ensino desses conceitos frequentemente se dá de forma fragmentada, fazendo com que alguns estudantes enfrentam um grande desafio: a integração de todos os sistemas em um projeto único e coerente.

Diante desse cenário, surge a necessidade de desenvolver um modelo didático e funcional em escala reduzida. Este modelo visa integrar sistemas de controle industrial (CLP) e IoT para demonstrar, de forma prática e acessível, os benefícios de uma automação predial integrada, permitindo o controle remoto e a automação de processos do dia a dia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e integrar um modelo em escala de um edifício inteligente, utilizando uma arquitetura de controle híbrida que combina um Controlador Lógico Programável (CLP) para sistemas de força e um microcontrolador ESP32 para Internet das Coisas (IoT), a fim de automatizar e permitir o controle local e remoto dos sistemas de iluminação, acesso veicular e operação do elevador.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Programar o CLP em linguagem Ladder para comandar a operação automática do elevador, utilizando sensores indutivos para detectar a posição dos andares e garantir paradas precisas.
2. Implementar, uma lógica de controle para o sistema da garagem inteligente, incluindo o acionamento do portão

pneumático baseado em sensor indutivo, a contagem de vagas e a interface com a IHM para display de informações.

3. Desenvolver o circuito de acionamento e a programação do microcontrolador ESP32 para gerenciar os LEDs que simulam a iluminação interna do prédio.

4. Criar um aplicativo mobile com interface para cadastro de usuários e controle remoto da iluminação, permitindo funções diferenciadas para moradores e administrador.

1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

· **Escopo Tecnológico:** O projeto não pretende ser uma replicação completa de todos os sistemas de um edifício inteligente real. Sistemas complexos de segurança, como detecção de incêndio ou controle de acesso por biometria, não serão objeto de estudo ou implementação. O foco restringe-se estritamente à automação de iluminação, acesso veicular e operação do elevador.

· **Escala e Materiais:** A implementação não envolve componentes industriais de grande porte ou que operem em tensões perigosas. Todo o sistema elétrico opera em baixa tensão e corrente, utilizando materiais de prototipagem como MDF. A maquete é, portanto, um modelo em escala didática, e não um protótipo industrial.

· **Comunicação e Conectividade:** A solução não abrange o desenvolvimento de uma infraestrutura de comunicação de longa distância ou o uso de serviços em nuvem comerciais. A comunicação do aplicativo mobile com o sistema (ESP32) se dará estritamente em uma rede local, não sendo implementado o controle remoto de fora da rede local.

· **Aspectos Construtivos e Arquitetônicos:** O projeto não tem como objetivo discutir ou inovar em técnicas de construção civil ou design arquitetônico. A maquete serve exclusivamente como suporte físico e estrutural para a instalação e demonstração dos sistemas de automação, priorizando a funcionalidade sobre a estética.

· **Análise Econômica e de Viabilidade:** Por fim, este trabalho não realizará uma análise de custo-benefício, estudo de mercado ou avaliação de viabilidade econômica para a implantação do sistema em escala real. Sua natureza é estritamente técnica e demonstrativa, focada na prova de conceito e na integração de tecnologias.

1.4 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

A automação predial, movida pela Internet das Coisas (IOT), representa uma evolução significativa na forma como edificações são projetadas, gerenciadas e utilizadas. A integração de sistemas inteligentes em edifícios proporciona benefícios como eficiência energética, segurança aprimorada, conforto para os usuários e redução de custos. No entanto, apesar das vantagens, o reconhecimento dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, especialmente no que diz respeito à compreensão e à demonstração prática de sua capacidade. Este estudo é relevante por oferecer uma abordagem prática e acessível para demonstrar os benefícios da automação predial utilizando IOT. Ao desenvolver um projeto que mostre um edifício em menor escala automatizado, o projeto permite visualizar de forma tangível como sistemas integrados podem operar de maneira eficiente e coordenada. Essa representação prática serve como ferramenta educacional, facilitando a compreensão dos conceitos envolvidos e incentivando a utilização de tecnologias inteligentes em edificações reais. Além disso, o trabalho contribui para a formação acadêmica e profissional, proporcionando aos envolvidos a oportunidade de aplicar conhecimentos teóricos em um projeto concreto, desenvolvendo habilidades técnicas e analíticas essenciais no contexto atual da engenharia e da tecnologia. A relevância do estudo também se estende à sociedade em geral, ao promover soluções que visam a sustentabilidade, a segurança e a eficiência no uso de recursos, alinhando-se às demandas contemporâneas por construções mais inteligentes e responsáveis.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** constitui a Introdução, na qual se contextualiza o tema, apresenta-se o problema de pesquisa, definem-se os objetivos gerais e específicos, delimita-se o propósito do estudo e discute-se a sua relevância.

O **Capítulo 2** dedicar-se-á à Fundamentação Teórica. Aqui serão revisados os conceitos e tecnologias que embasam o projeto, tais como os princípios de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e da linguagem Ladder, a arquitetura e aplicação de microcontroladores ESP32 em IoT, o funcionamento de sensores

indutivos e atuadores pneumáticos, e os fundamentos do desenvolvimento de aplicativos móveis e interfaces homem-máquina (IHM).

O **Capítulo 3**, Materiais e Métodos, descreverá detalhadamente a execução prática do projeto. Será dividido em subseções que explicitarão os materiais utilizados, a construção da maquete, o diagramamento dos circuitos, a programação do CLP e do ESP32, o desenvolvimento do aplicativo e, crucialmente, a implementação do protocolo de comunicação entre os sistemas.

O **Capítulo 4** tratará da Análise e Discussão dos Resultados. Nesta etapa, será apresentado o funcionamento integrado do modelo desenvolvido, com a exposição de dados, imagens e vídeos que demonstrem o atendimento aos objetivos propostos. Os resultados serão criticamente analisados, discutindo-se o desempenho do sistema, as dificuldades encontradas e as soluções implementadas.

Por fim, o **Capítulo 5** traz as Considerações Finais, onde se fará um balanço geral do trabalho, sintetizando as contribuições do projeto, respondendo aos objetivos inicialmente traçados, admitindo suas limitações e propondo direcionamentos para pesquisas e desenvolvimentos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo estabelecer os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento deste trabalho. Será realizada uma análise conceitual e histórica da automação, com foco na sua aplicação em ambientes prediais, culminando no conceito de edifícios inteligentes. Adicionalmente, serão detalhados os componentes centrais de um sistema de automação predial, abrangendo desde a arquitetura hierárquica e os controladores lógicos programáveis (CLPs) até a integração com sistemas pneumáticos e, por fim, o desenvolvimento de aplicativos móveis para supervisão e controle.

2.1 O QUE É AUTOMAÇÃO

O termo "automação" é comumente associado à substituição do esforço humano por máquinas, mas seu conceito é mais amplo e profundo. Automação, deriva das palavras gregas "auto" (por si próprio) e "matos" (movimento), significando,

portanto, a capacidade de um sistema operar de forma autônoma. Na engenharia, a automação é definida como a aplicação de tecnologias mecânicas, eletrônicas e computacionais para controlar processos produtivos e operacionais, visando aumentar a eficiência, a confiabilidade, a segurança e a qualidade, ao mesmo tempo que reduz a intervenção humana direta (PAREDE; GOMES; HORTA, 2011).

A trajetória histórica da automação está ligada às revoluções industriais. A Primeira Revolução Industrial, no século XVIII, marcou a transição da manufatura para a maquinofatura, com a introdução da máquina a vapor. Este foi um passo inicial em direção à mecanização, mas os processos ainda dependiam fortemente do operador humano. A Segunda Revolução Industrial, no final do século XIX e início do XX, com a eletricidade e a produção em massa, introduziu os primeiros sistemas de controle automático baseados em relés e lógica combinatória, fundamentais para a automação de linhas de montagem (GROOVER, 2025).

O marco decisivo para a automação moderna ocorreu na década de 1970, com o advento do Controlador Lógico Programável (CLP), desenvolvido para substituir complexos painéis de relés na indústria automotiva. Este dispositivo permitiu que a lógica de controle fosse definida por software, conferindo uma flexibilidade sem precedentes. Posteriormente, a difusão dos microprocessadores e da tecnologia da informação permitiu que a automação transcendesse os limites das fábricas, alcançando setores como transporte, saúde, agronegócio e, de forma mais relevante para este trabalho, o ambiente das edificações (GROOVER, 2025).

2.2 AUTOMAÇÃO PREDIAL E EDIFÍCIOS INTELIGENTES

A automação predial representa a aplicação dos princípios da automação industrial ao contexto das edificações. Trata-se da integração sistêmica de serviços anteriormente independentes – como climatização, iluminação, segurança patrimonial, controle de acesso, sistemas de incêndio e comunicação – em uma plataforma de gerenciamento centralizada e coordenada (AURESIDE, 2022).

O conceito surgiu como uma resposta à crise energética da década de 1970, quando o controle centralizado de sistemas de HVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) mostrou-se uma solução eficaz para a redução do consumo de energia em grandes edifícios comerciais. No Brasil, a conscientização sobre eficiência energética em edificações foi impulsionada por programas governamentais, como o

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), que estabeleceu diretrizes e incentivou a adoção de tecnologias mais eficientes (PROCEL, 2021).

Com a revolução digital das décadas de 1980 e 1990, a automação predial evoluiu de sistemas isolados para redes integradas, dando origem ao conceito de "Edifício Inteligente". Um edifício inteligente não é aquele que simplesmente possui sistemas automatizados, mas sim aquele cujos sistemas são interoperáveis e gerenciados de forma a otimizar o desempenho global da edificação ao longo de seu ciclo de vida, proporcionando benefícios tangíveis em termos de custo operacional, conforto, segurança e sustentabilidade ambiental (AURESIDE, 2022).

Atualmente, os edifícios inteligentes são impulsionados por tecnologias de ponta, como a Internet das Coisas (IoT), que permite a conexão de uma imensidade de sensores e atuadores à internet; a computação em nuvem, que oferece poder de processamento e armazenamento; e a inteligência artificial, que permite a análise de grandes volumes de dados para a tomada de decisões preditivas e adaptativas. Neste contexto, Coelho e Cruz (2017, p. 15) definem os edifícios inteligentes como “soluções em engenharia, dotadas de alta tecnologia, com sistemas eletrônicos desempenhando as mais variadas funções, utilizando sistemas que busquem a sustentabilidade e tragam mais qualidade de vida e comodidade aos seus usuários.”

2.3 ARQUITETURA DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO PREDIAL

A automação predial é organizada de forma hierárquica, estruturada em camadas funcionais que interagem entre si para garantir o monitoramento e o controle eficientes das edificações. Essa arquitetura em níveis facilita a integração de diferentes tecnologias e possibilita tanto a operação local quanto a supervisão remota dos sistemas. Segundo Favoreto (2024, p. 14-15), “a arquitetura da automação predial é composta por três níveis — dispositivos de campo, automação e gerenciamento — que interagem para assegurar a coleta de dados, o controle e a supervisão do edifício”. De maneira geral, a arquitetura moderna pode ser descrita em três níveis principais.

2.3.1 Camada de Campo

Esta é a camada física do sistema, composta pelos dispositivos que têm interface direta com o ambiente da edificação. Inclui os sensores, responsáveis por capturar variáveis físicas (como temperatura, umidade, luminosidade, presença, CO₂,

fumaça e movimento), e os atuadores, encarregados de executar ações sobre o ambiente (como acionar motores de persianas, abrir válvulas de água ou refrigerante, ligar lâmpadas e acionar fechaduras eletromagnéticas). A confiabilidade e precisão dos dispositivos desta camada são críticas, pois constituem a fonte primária de dados e o braço executivo do sistema (FAVORETO, 2022).

2.3.2 Camada de Automação

É o núcleo do sistema, responsável pelo processamento dos sinais provenientes da camada de campo. Tradicionalmente, é composta por Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), mas em aplicações específicas também são empregados microcontroladores e controladores híbridos. Nessa camada são implementados os algoritmos de controle, que determinam as respostas automáticas às condições monitoradas (MORAES & CASTRUCCI, 2010).

2.3.3 Camada de Gerenciamento

Constitui a interface entre o sistema automatizado e seus usuários. Pode incluir Interfaces Homem-Máquina (IHMs), softwares de supervisão instalados em computadores ou aplicativos móveis. Essa camada permite acompanhar o funcionamento do prédio em tempo real, gerar relatórios e realizar intervenções manuais sempre que necessário (MORAES & CASTRUCCI, 2010).

Alguns autores ainda acrescentam uma quarta camada, chamada de Gerenciamento, voltada à integração com sistemas corporativos ou plataformas de gestão energética, ampliando o alcance do controle predial para além do nível técnico, alcançando a administração estratégica do edifício.

Assim, a arquitetura de automação predial garante que as informações circulem desde os sensores e atuadores até os sistemas de supervisão, compondo uma estrutura que combina confiabilidade operacional com eficiência no uso dos recursos.

2.4 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLPS)

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) constituem dispositivos eletrônicos digitais sofisticados, projetados para o gerenciamento automatizado de processos industriais e prediais complexos. Surgidos como substitutos programáveis para os tradicionais painéis de relés, os CLPs permitiram a consolidação de sistemas de controle flexíveis, escaláveis e confiáveis, capazes de operar em ambientes adversos e com elevado grau de criticidade (PETRUZELLA, 2014). No contexto da automação predial, os CLPs assumem papel central, recebendo dados de sensores distribuídos pelo edifício e determinando a atuação de atuadores em conformidade com algoritmos de controle previamente estabelecidos, garantindo precisão, segurança e eficiência energética.

2.4.1 Funcionamento CLPs

O funcionamento de um CLP é baseado em um ciclo de varredura (scan cycle) contínuo e previsível. Este ciclo é dividido em três etapas principais: (1) leitura das entradas, onde o estado de todos os sensores conectados é armazenado na memória de imagem de entradas; (2) execução do programa, onde o processador do CLP resolve a lógica de controle definida pelo usuário (programada em linguagens como Ladder); e (3) atualização das saídas, onde os resultados do processamento lógico são enviados para os atuadores. Esta operação cíclica garante uma resposta determinística do sistema, um requisito fundamental para aplicações críticas como combate a incêndio e controle de acesso (PETRUZELLA, 2014).

2.4.2 Aplicações

A utilização de CLPs em automação predial proporciona robustez operacional, visto que estes dispositivos são capazes de operar continuamente em ambientes com variações de temperatura, vibração e interferência eletromagnética. Além disso, oferecem flexibilidade e escalabilidade, permitindo alterações programáticas e ampliação do sistema sem necessidade de modificações físicas extensivas, e integração com sistemas complexos, possibilitando a comunicação com redes industriais, plataformas IoT e sistemas

corporativos, viabilizando a gestão centralizada de múltiplos subsistemas. Essas características tornam os CLPs essenciais para o controle de elevadores, monitoramento de sistemas de climatização e iluminação, segurança eletrônica, combate a incêndio e otimização energética, consolidando seu papel como núcleo operacional dos edifícios inteligentes (PETRUZELLA, 2014).

2.4.3 Programação em Ladder

Na automação predial, os microcontroladores e CLPs requerem linguagens de programação que permitam a implementação de lógicas de controle de forma clara e confiável. A linguagem Ladder, ou diagrama de escada, tem destaque nesse cenário por sua semelhança com esquemas elétricos tradicionais, facilitando a compreensão por técnicos e engenheiros eletricitistas. Cada degrau do diagrama representa uma sequência lógica de comandos, simulando contatos, bobinas e outros dispositivos de relé utilizados em instalações prediais.

A programação em Ladder é especialmente indicada para controle discreto, aplicável em sistemas de iluminação, motores, portões automáticos e dispositivos de segurança, nos quais as decisões se baseiam em condições binárias. Sua utilização permite a construção de rotinas modulares, simplificando a manutenção, a identificação de falhas e a expansão de sistemas existentes. Apesar de linguagens mais modernas, como Structured Text ou Function Block Diagram, oferecerem maior flexibilidade para processos analógicos ou complexos, o Ladder mantém-se como padrão confiável para aplicações críticas, garantindo execução rápida e previsível das ações em edifícios inteligentes.

Além disso, a integração da programação em Ladder com dispositivos IoT, como microcontroladores ESP32, possibilita a criação de sistemas híbridos, combinando a robustez do CLP com a flexibilidade da conectividade em rede. Essa abordagem permite que sensores inteligentes, atuadores e interfaces móveis interajam de forma coordenada, ampliando a capacidade de monitoramento e controle em tempo real dentro de edificações modernas (PETRUZELLA, 2014).

2.5 SISTEMAS PNEUMÁTICOS EM APLICAÇÕES PREDIAIS

Os sistemas pneumáticos consistem em tecnologias de automação baseadas na utilização do ar comprimido como meio de transmissão e controle de energia. O princípio de funcionamento fundamenta-se na compressibilidade do ar, que pode ser armazenado em reservatórios sob pressão e, posteriormente, direcionado a componentes como válvulas, cilindros e atuadores, convertendo a energia potencial em movimento mecânico linear ou rotativo (FESTO, 2023). Esse tipo de sistema é amplamente reconhecido pela sua segurança em ambientes sensíveis, já que o ar não apresenta riscos de inflamabilidade ou toxicidade, além de ser um recurso abundante e de baixo custo (SMC DO BRASIL, 2025). A simplicidade construtiva e a elevada confiabilidade operacional explicam o uso recorrente da pneumática em aplicações industriais e, mais recentemente, em edificações inteligentes.

2.5.1 Aplicações em Automação Predial

A aplicação da pneumática no contexto predial está relacionada, sobretudo, à automação de mecanismos que demandam movimentos repetitivos, rápidos e com elevado índice de confiabilidade. Entre os exemplos mais comuns, destacam-se portões e barreiras de acesso automatizados, sistemas de ventilação e exaustão, mecanismos de abertura de janelas e claraboias, além de dispositivos de segurança como travas e bloqueadores de passagem (SAMSON BRASIL, 2025). A adoção de sistemas pneumáticos em edificações oferece benefícios específicos: a velocidade de resposta superior em comparação a soluções exclusivamente elétricas, a robustez frente a falhas ocasionais de energia elétrica e a facilidade de integração com controladores lógicos programáveis (CLPs) e sistemas supervisórios (SISTEM DO BRASIL, 2025). Dessa forma, a pneumática desempenha um papel estratégico no desenvolvimento de edifícios inteligentes, onde a integração de

diferentes tecnologias deve resultar em maior eficiência operacional e segurança.

2.6 DISPOSITIVOS MÓVEIS E DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVOS

A implementação de sistemas modernos de automação predial exige a integração entre diferentes pilares tecnológicos, abrangendo tanto o desenvolvimento de interfaces web acessíveis quanto a programação de dispositivos embarcados responsáveis pelo controle físico. Essa combinação caracteriza uma arquitetura de Internet das Coisas (IoT), na qual dispositivos inteligentes interagem com o ambiente e são supervisionados remotamente por meio de aplicações executadas em navegadores ou dispositivos móveis.

2.6.1 Front-End e Aplicações Web Progressivas (PWA)

A camada de interface com o usuário, ou front-end, é o ponto de interação entre o sistema e o operador. Atualmente, essa camada é frequentemente desenvolvida utilizando a tríade fundamental das tecnologias web: HTML, CSS e JavaScript, que possibilitam a criação de sistemas acessíveis a partir de qualquer navegador moderno.

O HTML (HyperText Markup Language) define a estrutura e a semântica do conteúdo da aplicação, especificando elementos como botões, painéis de controle e formulários de autenticação. Já o CSS (Cascading Style Sheets) é responsável pela aparência visual, layout e responsividade, assegurando que a interface se adapte adequadamente a diferentes tamanhos de tela, como smartphones, tablets e desktops (ROCKETSEAT, 202?). De acordo com Flanagan (2013, p. 22), “JavaScript é uma linguagem que diferencia letras maiúsculas de minúsculas”. JavaScript (JS) é a linguagem que confere dinamismo e interatividade à aplicação, processando eventos do usuário, validando dados e realizando a comunicação com dispositivos externos.

Uma abordagem moderna e eficiente para aplicações de automação é o uso de Progressive Web Apps (PWAs). Um PWA combina as vantagens dos aplicativos nativos e das aplicações web, podendo ser instalado no dispositivo do usuário e

funcionar mesmo offline. Desenvolvido com HTML, CSS e JavaScript, o PWA permite o acesso a funcionalidades avançadas do hardware, como notificações push e conectividade Bluetooth, sem depender de lojas de aplicativos (FULTON, 2023). Essa abordagem proporciona compatibilidade cross-platform, sendo executável em navegadores modernos de diferentes sistemas operacionais, incluindo Android, iOS e Windows (ANDROID DEVELOPERS, 2023).

2.6.2 Sistemas Embarcados e a Plataforma ESP32

Os sistemas embarcados são sistemas computacionais dedicados a funções específicas dentro de um dispositivo maior, geralmente baseados em microcontroladores que integram processador, memória e interfaces de entrada/saída (I/O) em um único chip.

Entre as plataformas mais populares na área de automação e IoT destaca-se o ESP32, desenvolvido pela Espressif Systems. O ESP32 combina em um único chip um processador dual-core Xtensa, conectividade Wi-Fi 802.11 b/g/n e Bluetooth (Clássico e Low Energy – BLE), o que o torna ideal para aplicações de controle sem fio em ambientes residenciais e prediais (ESPRESSIF SYSTEMS, 2023). Sua popularidade deve-se ao baixo custo, à facilidade de programação e à ampla comunidade de desenvolvedores.

A programação do ESP32 pode ser realizada por meio do Arduino IDE ou do framework ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework), utilizando predominantemente a linguagem C++, que oferece o equilíbrio ideal entre controle de hardware e abstração de software (LOCAWEB, 2024). Essa combinação permite o desenvolvimento de sistemas embarcados robustos e eficientes, capazes de executar tarefas de controle em tempo real, como acionamento de relés, leitura de sensores e comunicação com interfaces externas.

2.6.3 Comunicação Sem Fio: Bluetooth Low Energy (BLE) e WebBluetooth API

Para a comunicação de curto alcance entre a interface web e o dispositivo embarcado, a tecnologia Bluetooth Low Energy (BLE) apresenta-se como uma solução otimizada. O BLE foi projetado para transmitir pequenos volumes de dados de forma intermitente, com baixo consumo de energia, sendo amplamente utilizado em dispositivos IoT (BLUETOOTH SIG, 2023).

O BLE adota um modelo cliente-servidor: o dispositivo embarcado (como o ESP32) atua como servidor GATT (Generic Attribute Profile), disponibilizando serviços e características que representam suas funcionalidades, como o estado de um sensor ou o comando de uma saída digital. A aplicação cliente — que pode ser um PWA executado em um navegador — conecta-se ao servidor BLE e interage com essas características para ler ou enviar comandos.

A Web Bluetooth API, padronizada pelo World Wide Web Consortium (W3C), permite que aplicações web seguras estabeleçam conexões BLE diretamente a partir do navegador (W3C, 2023). Essa API torna possível que uma aplicação PWA interaja com o ESP32 sem necessidade de um aplicativo nativo, democratizando o acesso à automação predial via web. Assim, o usuário pode acionar dispositivos, monitorar sensores e receber feedback em tempo real apenas com um smartphone ou computador conectado via Bluetooth (MDN, 2023).

2.6.4 Integração Prática na Automação Predial

A convergência entre PWAs, sistemas embarcados (ESP32) e protocolos de comunicação BLE viabiliza arquiteturas modernas de automação predial que unem acessibilidade, baixo custo e escalabilidade.

Nesse modelo, a interface de supervisão é executada no navegador do usuário, enquanto a lógica de controle reside em dispositivos embarcados distribuídos pelo ambiente. Essa separação aumenta a segurança, reduz a complexidade de manutenção e permite que cada camada opere de forma independente.

Em condomínios inteligentes, por exemplo, o síndico pode gerenciar remotamente dispositivos comuns (iluminação, portões, sensores) através de um painel web centralizado, enquanto cada morador acessa, de forma autenticada,

controles individuais por meio do navegador de seu próprio smartphone. Essa abordagem representa uma aplicação prática dos conceitos de IoT e automação distribuída, aliando conectividade, eficiência energética e usabilidade.

3 PROPOSIÇÃO

Este trabalho tem como proposta central o desenvolvimento de um modelo em escala reduzida de um edifício inteligente, integrando sistemas de automação predial baseados em Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e microcontroladores ESP32, com controle local e remoto via aplicativo móvel. A intenção é demonstrar, de forma didática e funcional, a viabilidade técnica da integração de sistemas tradicionalmente industriais – como pneumática, sensores indutivos e CLPs – com tecnologias contemporâneas de Internet das Coisas (IoT), como comunicação Bluetooth Low Energy (BLE) e desenvolvimento de Progressive Web Apps (PWA).

A partir do problema identificado – a carência de modelos pedagógicos que integrem, de forma prática e acessível, os diversos sistemas presentes em um edifício inteligente –, este projeto busca responder às seguintes questões:

- Como integrar, em um único modelo físico, diversas áreas da automação?
- É possível utilizar uma arquitetura híbrida, combinando CLPs para sistemas de força (elevador e garagem) e ESP32 para IoT (iluminação e interface móvel), de forma eficiente e com baixo custo?
- De que maneira o desenvolvimento de um aplicativo móvel personalizado (CondoManager) pode facilitar o controle remoto e a usabilidade do sistema por diferentes perfis de usuários?

Como hipótese principal, assume-se que é possível desenvolver um modelo integrado e em escala reduzida que simule o funcionamento de um edifício inteligente, utilizando componentes de baixo custo e tecnologias acessíveis, sem comprometer a funcionalidade dos sistemas de automação. Acredita-se ainda que a combinação entre CLPs (programados em Ladder) e microcontroladores ESP32 (comunicação BLE) constitui uma abordagem viável para a criação de um protótipo educativo, capaz de reproduzir de maneira fiel os princípios de automação predial e IoT.

Além disso, espera-se que o aplicativo CondoManager, desenvolvido como uma PWA, permita o controle intuitivo da iluminação, validando a hipótese de que interfaces web modernas podem substituir com vantagens os sistemas de supervisão convencionais em aplicações de pequena e média complexidade.

4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão apresentados os materiais utilizados e desenvolvimento do projeto.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 LED

A palavra LED vem do inglês Light Emitting Diode, que significa Diodo Emissor de Luz. O LED é um componente eletrônico semicondutor, composto de cristal semicondutor de silício ou germânio. O LED possui a mesma tecnologia usada em chips de computadores, que possuem a capacidade de transformar energia em luz.

A transformação de energia elétrica em luz que os LEDs possuem é diferente da transformação que as lâmpadas incandescentes fazem. Lâmpadas incandescentes convencionais utilizam um filamento metálico, enquanto que nos LEDs essa transformação é feita em matéria, sendo chamada de estado sólido. Nas lâmpadas incandescentes o filamento de metal é colocado no seu interior, este mesmo filamento se aquece na passagem de corrente elétrica. Os átomos tem seu grau de agitação de tal forma aumentado que ocorre a emissão de luz. No LED a emissão de luz acontece quando a corrente elétrica percorre o material de junção PN (diodo semicondutor), emitindo radiação infravermelha. O componente mais importante de um LED é o chip semicondutor, responsável pela geração de luz, este chip possui dimensões muito reduzidas, menor do que o tamanho de um LED convencional, cerca de 0,5 mm.

O LED é um componente bipolar, possui dois terminais chamados de ânodo e catodo, os quais determinam ou não a polarização do LED, ou seja, a forma a qual está polarizado determina a passagem ou não de corrente elétrica, esta ocasionando a ocorrência de luz. A polarização que permite a emissão de luz pelo LED é o terminal anodo no positivo e o catodo no negativo, para identificar qual dos terminais é o ânodo e qual é o catodo, basta observar o tamanho dos terminais. A “perninha” maior do LED é o ânodo, e a menor é o catodo.

Figura 1 - LED



Fonte: GREEN PROPHET (2017)

4.1.1.1 Função dos LEDs no Projeto

Os LEDs foram utilizados de duas formas no projeto. Na estrutura do prédio, eles simulam as luzes de cada andar, sendo quatro LEDs por andar: dois representam a iluminação dos corredores e os outros dois correspondem à iluminação dos apartamentos. Todos foram conectados ao ESP32, permitindo seu fossem ligados e desligamento via Bluetooth, por meio do aplicativo desenvolvido pelo grupo.

Na área externa, os LEDs foram instalados como postes de iluminação, que acendem automaticamente após o anoitecer. Esse funcionamento é controlado por um Relé Fotocélula, que, ao detectar baixa intensidade de luz, aciona os postes, e, quando há iluminação suficiente, desliga-os automaticamente.

4.1.2 Microcontrolador ESP32

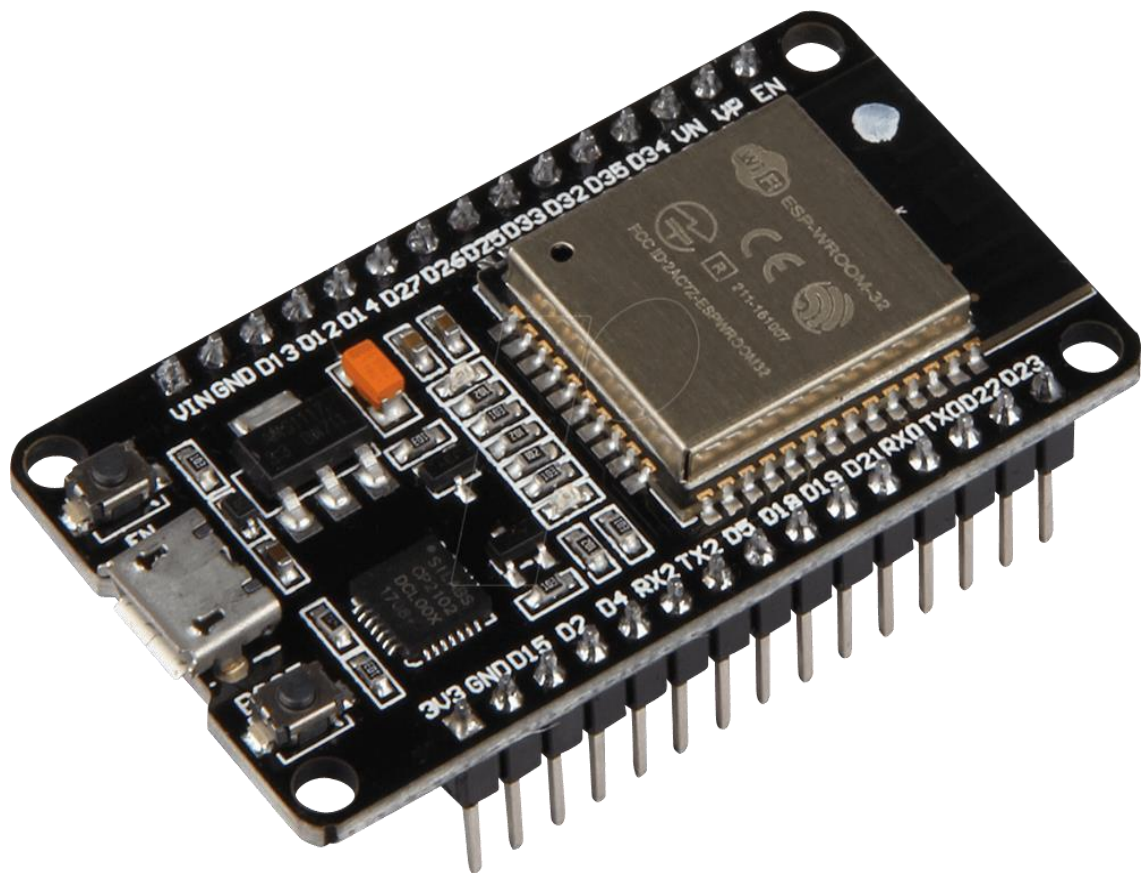
ESP32 é uma série de microcontroladores produzidas pela Espressif Systems. Contando com 512KB de SRAM e processamento de 160 ou 240 MHz, o foco das placas ESP32 é unir funcionalidade e baixo consumo de energia. Encontram-se versões single-core e, em sua maioria, dual-core. O ESP32 é muito utilizado para projetos de IoT e automação, pelo fato de possuir nativamente Wi-fi e Bluetooth. O Quadro 1 apresenta os principais periféricos do ESP32.

Quadro 1 - Periféricos do ESP32

Periféricos	Observações
Até 18 Entradas Analógicas (ADC)	Capazes de ler tensões entre 0V e 3,3V, com uma resolução de 12 bits
2 Saídas Analógicas (DAC)	Possuem resolução de 8 bits, geram tensões analógicas reais
Até 16 canais PWM	Canais de Modulação por Largura de Pulso, simulam tensões analógicas, possuem resolução de 16 bits
Até 10 sensores de toque	Portas com detecção capacitiva
Diversas interfaces de comunicação	Interfaces para comunicação SPI, I2C, I2S e UART

Fonte: AUTOMATE LAB(2025)

Figura 2 - ESP32



Fonte: AUTOMATE LAB(2025)

4.1.2.1 Função do ESP32 no Projeto

O ESP32 é responsável por realizar a comunicação entre o sistema físico e o aplicativo desenvolvido pelo grupo, por meio de conexão Bluetooth. Ele foi instalado em uma placa PCBilhada, à qual LEDs foram conectados por cabos, nas portas de saída digital do ESP32.

Dessa forma, o microcontrolador recebe os comandos enviados pelo aplicativo e aciona os LEDs correspondentes, permitindo o controle remoto da iluminação do prédio de maneira prática.

4.1.3 Cilindro Pneumático

Um cilindro pneumático de dupla ação é um dispositivo que utiliza ar comprimido para gerar movimento em duas direções: tanto na extensão quanto na retração do cilindro. Isso significa que ele pode realizar trabalho tanto quando o ar é injetado na câmara de avanço (para estender o cilindro) quanto quando o ar é injetado na câmara de retorno (para retrain o cilindro).

Em comparação, os cilindros de simples ação com retorno por mola têm a força de um lado do cilindro exercida pelo ar comprimido e do outro lado do cilindro por uma mola.

Muita gente pensa que o cilindro pneumático de simples ação com retorno mola é mais simples e mais comumente usados do que o cilindro de dupla ação mas, na verdade, é o contrário. O cilindro com retorno mola é mais complexo de fabricar, com mais peças, o que o torna muito mais caro que o cilindro de dupla ação. Então ele não é muito comumente utilizado, a não ser em aplicações específicas.

Algumas vezes este tipo de cilindro é utilizado em aplicações que requerem um nível maior de segurança, porque mesmo que a energia elétrica e ar comprimido acabe, a mola ainda garante que o cilindro retorne para a posição inicial. Ele pode ser construído com a mola para retrain ou estender o cilindro.

Figura 3 - Cilindro de Dupla Ação



Fonte: MERCADO LIVRE

4.1.3.1 Função do Cilindro no Projeto

Os cilindros pneumáticos são responsáveis pela abertura e fechamento do portão da garagem do projeto. Foram utilizados dois cilindros, instalados junto a estruturas que simulam portões de abertura horizontal, um destinado à entrada e outro à saída.

Ambos os cilindros estão conectados a válvulas 5/2 vias com acionamento por solenóide, as quais são controladas pelo Controlador Lógico Programável (CLP). O CLP executa a sequência de comandos programada, garantindo o funcionamento adequado do sistema de abertura e fechamento de forma automática e sincronizada.

4.1.4 Compressor de Ar

O compressor de ar é uma máquina ou dispositivo que utiliza um mecanismo para aumentar a pressão do ar ambiente, transformando-o em ar comprimido e

gerando energia pneumática. Para isso, ele recebe energia elétrica ou de combustíveis, como gasolina e diesel, para produzir a energia mecânica necessária para comprimir o ar.

Essa fonte de energia pneumática fica armazenada no próprio compressor. Por meio de um mecanismo de bombeamento, o equipamento comprime o ar para uma saída de acumulação.

O compressor é amplamente utilizado em uma variedade de aplicações, como atividades mecânicas, centros automotivos, indústrias, construção civil, consultórios odontológicos, pintura residencial e predial, linhas de produção, sistemas de automação, ar condicionado e refrigeração. Diversas ferramentas e sistemas podem ser conectados a ele para utilizar o ar comprimido e otimizar tarefas, desde ferramentas pneumáticas industriais até o uso doméstico para encher pneus de carros e bicicletas.

Figura 4 - Compressor de Ar



Fonte: HAVAN

4.1.4.1 Função do Compressor de Ar no Projeto

O compressor de ar possui uma função essencial, porém simples, dentro do sistema: fornecer o ar comprimido necessário para o acionamento das válvulas 5/2.

Esse suprimento de ar possibilita o funcionamento dos cilindros pneumáticos, garantindo pressão suficientes para a movimentação dos portões de entrada e saída.

4.1.5 Válvula Pneumática 5/2 vias com Acionamento por Solenoide

Uma válvula direcional 5/2 é um componente de sistemas de controle pneumático, responsável por dirigir o fluxo de ar comprimido para diferentes portas de um atuador, como um cilindro de dupla ação.

A nomenclatura "5/2" indica que a válvula possui 5 vias (entrada de ar pressurizado "1", duas vias de trabalho "2" e "4", e duas vias de exaustão "3" e "5") e 2 posições distintas.

O acionamento por solenoide (eletropneumático) utiliza um campo electromagnético gerado por uma bobina (solenoide) quando energizada, que desloca um êmbolo interno contra a ação de uma mola, comutando a posição da válvula e, consequentemente, o caminho do ar.

Muitas válvulas incorporam um retorno por mola (single solenoid) ou um segundo solenoide para comutação bilateral (double solenoid). Esta configuração permite o controle elétrico digital de sistemas pneumáticos, sendo a interface fundamental entre controladores (como CLPs) e atuadores.

Figura 5 - Válvula 5/2 com Solenoide



Fonte: MERCADO LIVRE

4.1.5.1 Função da Válvula 5/2 vias no Projeto

A válvula 5/2 vias desempenha um papel central no sistema pneumático. Ela é responsável por controlar o fluxo de ar comprimido para os cilindros, permitindo a movimentação de avanço e retorno.

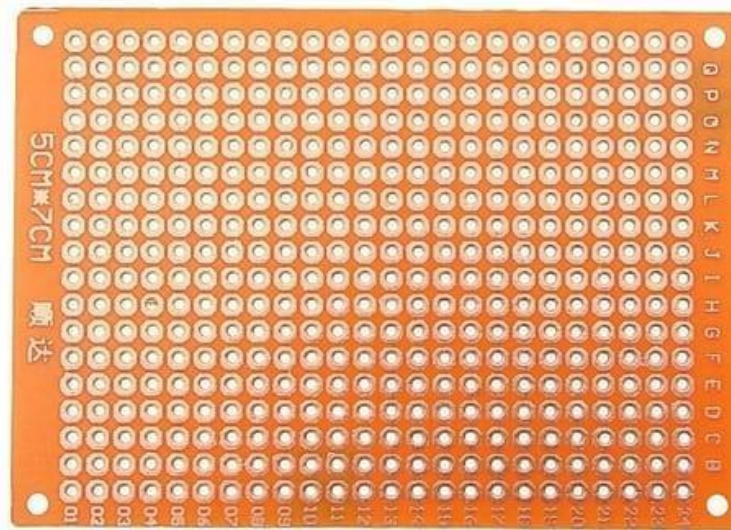
Conectada ao CLP, a válvula é acionada conforme os botões programados ou, alternativamente, por meio de um controle portátil, possibilitando a abertura e o fechamento do portão de forma manual quando necessário. Assim, a válvula garante a integração entre os comandos eletrônicos e o sistema pneumático.

4.1.6 Placa PCB Ilhada

Uma placa PCB (Placa de Circuito Impresso) ilhada é um tipo de placa que utiliza ilhós ou furos metalizados para montar componentes eletrônicos. Essa é uma técnica comum de montagem de circuitos eletrônicos, especialmente em protótipos e em aplicações onde a montagem manual é necessária.

A placa PCB ilhada é geralmente feita de um material isolante, como fibra de vidro ou resina epóxi, com camadas de cobre laminadas em ambos os lados. Essas camadas de cobre são usadas para criar trilhas condutoras que conectam os componentes eletrônicos. Os furos metalizados, ou ilhós, são pequenos orifícios perfurados na placa que são revestidos com uma fina camada de cobre. Esses furos servem para permitir a passagem de componentes eletrônicos através da placa e fornecer uma conexão elétrica entre as camadas superior e inferior da PCB.

Figura 6 - Placa PCB Ilhada



Fonte: PACSHOP

4.1.6.1 Função da Placa PCB Ilhada no Projeto

A placa PCB ilhada tem uma função simples, porém fundamental. Foram utilizadas duas placas:

A primeira foi destinada à soldagem dos componentes do sistema de elevador, facilitando a interligação dos circuitos;

NA segunda foi feita instalação do ESP32 e na conexão dos LEDs por meio de cabos soldados nas trilhas onde estavam as portas do microcontrolador.

Ela permitiu que fosse feita uma montagem mais organizada e de fácil manutenção.

4.1.7 Sensor Indutivo

Um sensor indutivo é um dispositivo eletrônico utilizado para detectar a presença de objetos metálicos próximos a ele. Ele funciona com base no princípio da indução eletromagnética.

Um campo magnético é gerado pelo sensor e, quando um objeto metálico entra na área de detecção, ocorre uma alteração no campo magnético, que é detectada pelo sensor, o que resulta em um sinal de saída. Os sensores indutivos são amplamente

utilizados em aplicações industriais para automação de processos, detecção de peças e outras aplicações em que a detecção precisa e confiável de objetos metálicos é essencial.

Sua história remonta ao final da década de 1950, quando os engenheiros Walter Pepperl e Wilfried Gehl criaram o primeiro sensor de proximidade indutivo. Desde então, os sensores indutivos se tornaram peças fundamentais na indústria, ao garantir maior eficiência em diversos processos. Ao longo dos anos, esses sensores passaram por avanços tecnológicos, de modo a tornar-se mais sensíveis e confiáveis.

Figura 7 - Sensor Indutivo



Fonte: LEMAQS AUTOMAÇÃO

4.1.7.1 Função do Sensor Indutivo no Projeto

O sensor indutivo é um dos componentes mais relevantes do projeto, estando presente tanto no elevador quanto na garagem.

No elevador, os sensores atuam como fim de curso, detectando a presença de uma haste metálica presa na cabine, em cada andar. Quando o botão referente a um andar é acionado, o sensor correspondente identifica a chegada da cabine à posição correta, enviando o sinal ao CLP para interromper o movimento.

Na garagem, o sensor indutivo tem a função de detectar a presença de veículos estacionados, enviando essa informação ao CLP. A IHM integrada exibe o número de vagas disponíveis, permitindo o controle preciso da ocupação.

Além disso, quando todos os sensores indicam que as vagas estão preenchidas, o CLP bloqueia a abertura do portão de entrada, mantendo apenas o funcionamento do portão de saída, garantindo segurança e controle de acesso.

4.1.8 Sensor Óptico

Cada objeto emite luz de uma determinada maneira, de acordo com seu formato, cor, espessura, tamanho e, ainda, conforme a distância a que está localizado do sensor óptico. Assim, sensores ópticos baseiam-se na emissão e recepção do feixe de luz para detectar substâncias e materiais.

Na prática, isso significa que, numa esteira rolante, o sensor detecta a presença de objetos com precisão e o melhor custo-benefício. O dispositivo dispensa a presença de um colaborador para checar se o padrão da produção se mantém, por exemplo, já que a passagem dos itens no local já indica a quantidade fabricada.

Sensores ópticos podem conter diversos tipos de luz para a detecção de objetos por formato cor, distância ou espessura, seja laser, vermelha ou infravermelha.

Figura 8 - Sensor Óptico



Fonte: ELETROLÍCO

4.1.8.1 Função do Sensor Óptico no Projeto

O sensor óptico está integrado ao sistema do portão da garagem e tem como principal função garantir a segurança durante o fechamento.

Enquanto o sensor detectar a passagem de um veículo, o CLP impede o fechamento do portão, evitando acidentes e danos materiais. Esse componente complementa as medidas de segurança implementadas no sistema automatizado.

4.1.9 CLP (Controlador Lógico Programável)

O CLP é um computador industrial robusto e dedicado projetado para o controle de processos automáticos em diversos ambientes. Sua arquitetura é modular, constituída por: uma Unidade Central de Processamento (CPU) que executa o

programa de usuário; módulos de entrada (E/S digitais e analógicas) que interfaceiam com sensores e interruptores; e módulos de saída que comandam atuadores (como contactores, válvulas, LEDs). A programação é feita predominantemente em linguagens padronizadas pela norma IEC 61131-3, sendo o Ladder Diagram (Diagrama de Escadas) uma das mais comuns, por assemelhar-se aos antigos diagramas de relés. Os CLPs operam em um ciclo de varredura (scan cycle) contínuo, que inclui leitura das entradas, execução do programa lógico, e atualização das saídas.

Figura 9 - CLP



Fonte: KEYLOGIX

4.1.9.1 Função do CLP no Projeto

O Controlador Lógico Programável (CLP) é o componente central do projeto, responsável por coordenar o funcionamento de todos os sistemas — elevador, garagem e portão.

No sistema do elevador, o CLP recebe o comando do andar desejado (1º ao 3º andar) e aciona o motor, controlando o movimento de subida ou descida até que o sensor indutivo detecte a posição correta, interrompendo o deslocamento da cabine.

Já no portão, o CLP, por meio das teclas F1, F2, F3 e F4, aciona as válvulas 5/2 conectadas às solenoides, controlando os tempos de abertura e fechamento do portão.

Na garagem, o CLP, por meio dos sensores indutivos, recebe as informações sobre o número de vagas ocupadas e disponíveis. Em seguida, esses dados são enviados para a IHM, que exibe em sua tela o estado atual de ocupação da garagem, permitindo o monitoramento em tempo real.

O sistema também inclui formas de segurança e controle, como a limitação de abertura quando todas as vagas estão ocupadas (detectadas pelos sensores indutivos) e a interrupção automática do fechamento caso o sensor óptico identifique a passagem de um veículo.

O CLP utilizado no projeto possui uma IHM integrada, eliminando a necessidade de uma interface externa e tornando o sistema mais compacto e eficiente.

4.1.10 IHM (Interface Homem-Máquina)

Para a indústria automatizada, quanto mais fácil de usar e mais responsiva a IHM, mais econômico e eficiente é o trabalho.

Nela, o operador consegue visualizar sinais de alarmes, alterar parâmetros, ajustar velocidade, analisar gráficos ou tabelas. No caso de uma tela touch, o processo se torna ainda mais intuitivo, rápido e produtivo.

Além disso, a ferramenta substitui funções como a tradicional caminhada pelo chão de fábrica, acompanhada por uma prancheta, papel e caneta, reduzindo falhas de comunicação e acidentes.

Aplicação no projeto: Permitindo ao operador monitorar o estacionamento, visualizar o status do portão e interagir manualmente com o sistema quando necessário, simulando a função do “síndico” em um prédio real.

Figura 10 - IHM



Fonte: KALATEC

4.1.10.1 Função da IHM no Projeto

A Interface Homem-Máquina (IHM) integrada ao CLP tem como função exibir informações operacionais sobre a garagem e o elevador.

No elevador, a interface indica em qual andar a cabine se encontra e para qual andar está se deslocando, oferecendo uma visualização clara e imediata do funcionamento geral do sistema.

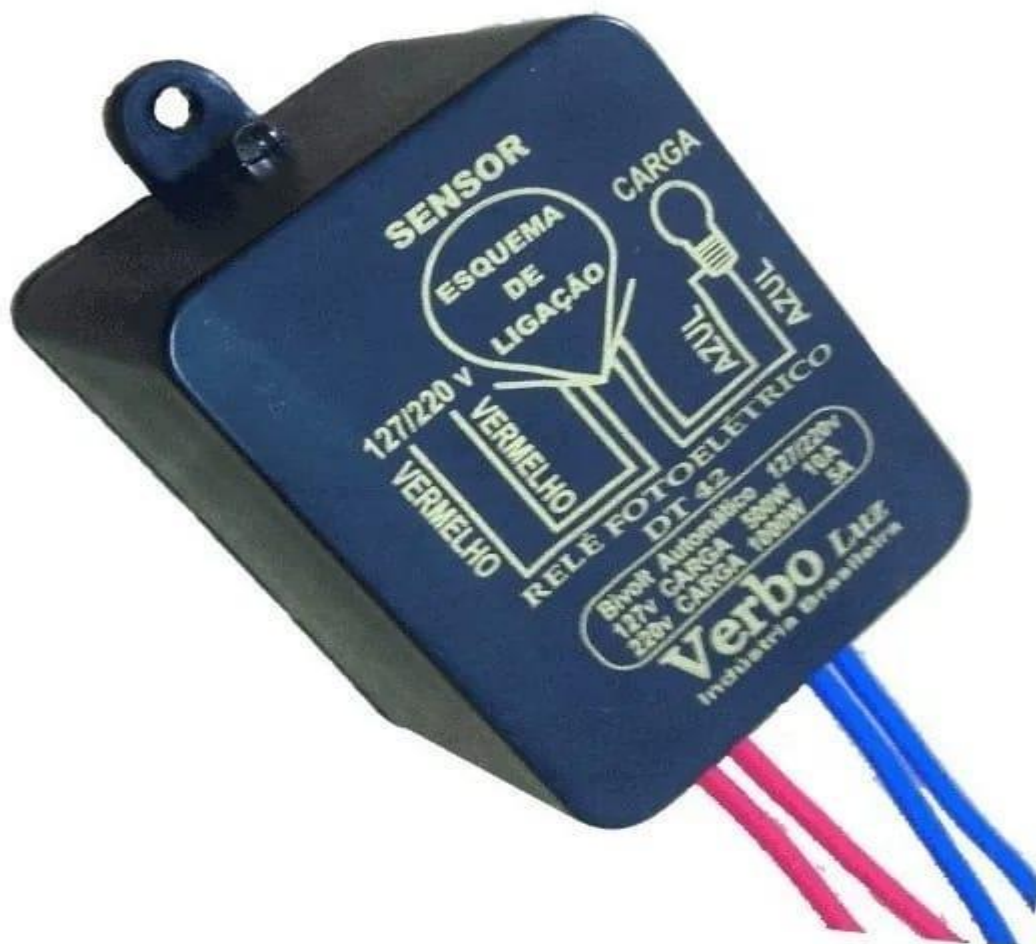
4.1.11 Relé Sensor Fotocélula

Um relé sensor fotocélula funciona detectando os níveis de luminosidade para acionar ou desligar uma carga, como uma lâmpada, automaticamente. Quando o

ambiente escurece, ele liga a carga, e quando clareia, desliga. Esse processo é possível devido ao uso de um componente sensível à luz, o LDR (resistor dependente de luz), cujo valor de resistência muda conforme a luz incide sobre ele, controlando um circuito interno que fecha ou abre o circuito da carga.

O Relé acenderá todo tipo de iluminação que você tiver em seu ambiente automaticamente após detectar ausência de luz, e apagará ao identificar luminosidade, garantindo a economia de energia das luminárias. Um dos exemplos práticos da utilidade do Relé Fotoelétrico é nas ligações das lâmpadas de postes, que acendem automaticamente quando escurece, e apagam ao amanhecer.

Figura 11 - Relé Sensor Fotocélula



Fonte: MERCADO LIVRE

4.1.11.1 Função do Sensor Fotocélula no Projeto

O sensor possui uma função simples, porém essencial para o projeto: ele será responsável pelo controle de iluminação da base (área externa/garagem). Enquanto

houver luz no ambiente, os LEDs que funcionam como postes permanecerão desligados; porém, quando o sensor não detectar nenhuma fonte luminosa, os LEDs serão acionados.

4.2 PROJETO

4.2.1 Contexto

A ideia do projeto passou por diversas fases e discussões. O único consenso entre todos os integrantes do grupo era que todos gostariam de desenvolver algo que englobasse os principais conteúdos abordados ao longo do curso técnico, juntando diferentes áreas em um único sistema funcional.

Durante as conversas iniciais, um dos integrantes apresentou a proposta de criar uma maquete automatizada, inspirada em vídeos de redes sociais que mostravam o funcionamento de prédios e condomínios inteligentes. A partir dessa sugestão, iniciou-se o processo de estruturação do projeto, onde foram separadas as funções de cada integrante, e no meio disso surgiu uma nova ideia para implementar o projeto, algo que não foi abordado ao decorrer do curso, a programação de um aplicativo.

4.2.2 Estrutura

Inicialmente, foi projetado um prédio de cinco andares (térreo mais quatro andares), contendo dezesseis apartamentos, estacionamento inteligente, elevador funcional e portão automático. Entretanto, por conta de limitações no orçamento não foi possível a execução dessa versão. Assim, o modelo foi ajustado para três andares além do térreo, com dois apartamentos por andar, totalizando seis. A estrutura foi projetada sobre uma base de 80 cm x 80 cm, que também abriga a garagem automatizada.

Entre os meses de maio e agosto, alguns membros focaram em adquirir a estrutura do prédio entrando em contato com profissionais em corte a laser em MDF.

Inicialmente foi adquirido protótipo do edifício em MDF, no valor de R\$ 140,00, com o intuito de realizar testes e ajustes antes da versão definitiva. Considerando que a versão final teria um custo aproximado de R\$ 370,00, o grupo decidiu ficar apenas

com o modelo inicial, realizando modificações na estrutura para atender aos requisitos necessários.

Durante essa fase, os integrantes também foram responsáveis pela pintura, acabamento e fixação dos andares, garantindo estabilidade e fácil acesso às áreas internas para manutenção.

Figura 12 - Prédio + Elevador (Início do Projeto)



Fonte: Própria

4.2.3 Elevador

Enquanto era feita a busca da estrutura, alguns integrantes iniciaram o desenvolvimento do elevador controlado por CLP, uma das partes mecânicas mais relevantes da maquete.

As primeiras etapas consistiram em pesquisas sobre o design e funcionamento de sistemas. Em seguida, iniciou-se a montagem do protótipo utilizando chapas de

MDF e um motor de corrente contínua, conectado a um eixo com corda de sustentação.

Nos primeiros testes, utilizamos um barbante simples como para testar a tração, o que permitiu comprovar o funcionamento básico do sistema. No entanto, após alguns testes, vimos desgaste no material e travamentos, o que danificou o motor. Como solução, nosso grupo substituiu o motor por um modelo mais potente e utilizou uma corda nova e mais resistente, garantindo estabilidade ao movimento.

Após os ajustes, o sistema passou por novos testes, obtendo um desempenho satisfatório. A estrutura foi posteriormente pintada e integrada à maquete, resultando em um modelo funcional de elevador automatizado, controlado por Controlador Lógico Programável (CLP).

Figura 13 - Elevador

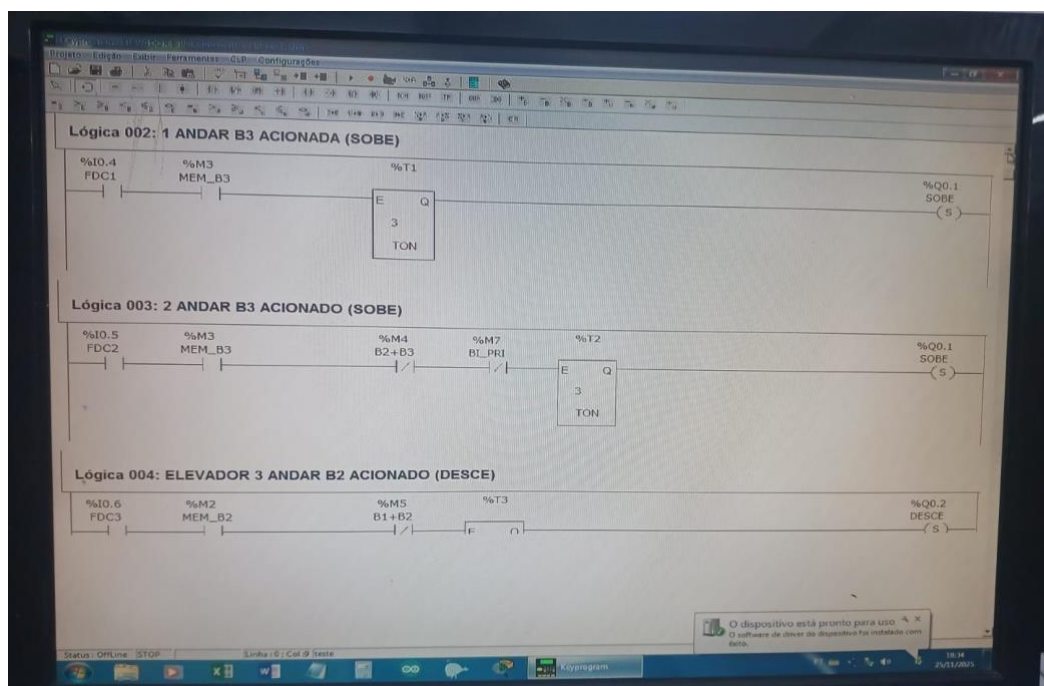


Fonte: Própria

4.2.3.1 Programação Elevador

A programação do elevador passou por muitos problemas, mas com a ajuda de um dos nossos professores conseguimos finalizá-la, utilizando um Controlador Lógico Programável (CLP) como unidade central de controle. A programação foi desenvolvida na linguagem Ladder, por ser a principal linguagem de um CLP e por ter sido aquela que tivemos contato no curso.

Figura 14 - Programação Elevador



Fonte: Própria

O funcionamento começa a partir do acionamento dos botões do CLP que utilizamos. Ao pressionar um dos botões, o sinal correspondente é enviado para o CLP, que processa a solicitação e determina o sentido de deslocamento necessário — subida ou descida — para atingir o andar desejado. Em seguida, o CLP aciona as saídas conectadas ao circuito do motor, controlando sua rotação no sentido necessário.

Durante o movimento da cabine, o sistema utiliza sensores indutivos instalados em cada “andar”, os quais funcionam como fins de curso. Esses sensores detectam a presença de uma haste de metal fixada na cabine. Quando o elevador atinge a posição correspondente ao andar selecionado, o sensor envia um sinal de retorno à entrada

do CLP, que, por meio da lógica Ladder, desativa imediatamente a saída responsável pelo acionamento do motor, interrompendo o deslocamento.

Além disso, o sistema conta com uma IHM que apresenta, em tempo real, o andar atual da cabine e para qual andar deseja ir. Essa junção entre o CLP, os sensores e a IHM garante o controle automatizado completo do sistema, simulando o funcionamento de um elevador real.

4.2.4 CondoManager

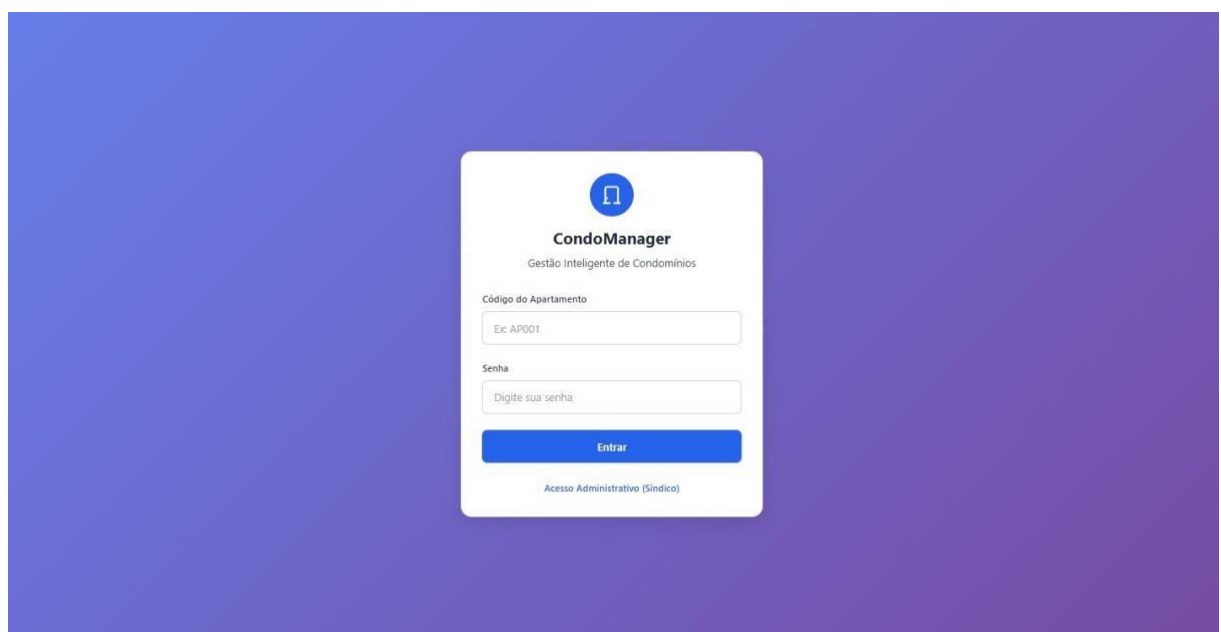
O CondoManager é aplicativo desenvolvido para o projeto, representando a integração entre interface web e controle físico via microcontrolador ESP32.

O objetivo do aplicativo é facilitar a administração de ambientes residenciais, permitindo que moradores e administradores controlem funções internas, como iluminação e monitoramento. O sistema foi projetado em duas camadas principais:

Camada Web: responsável pela interface visual e interação do usuário;

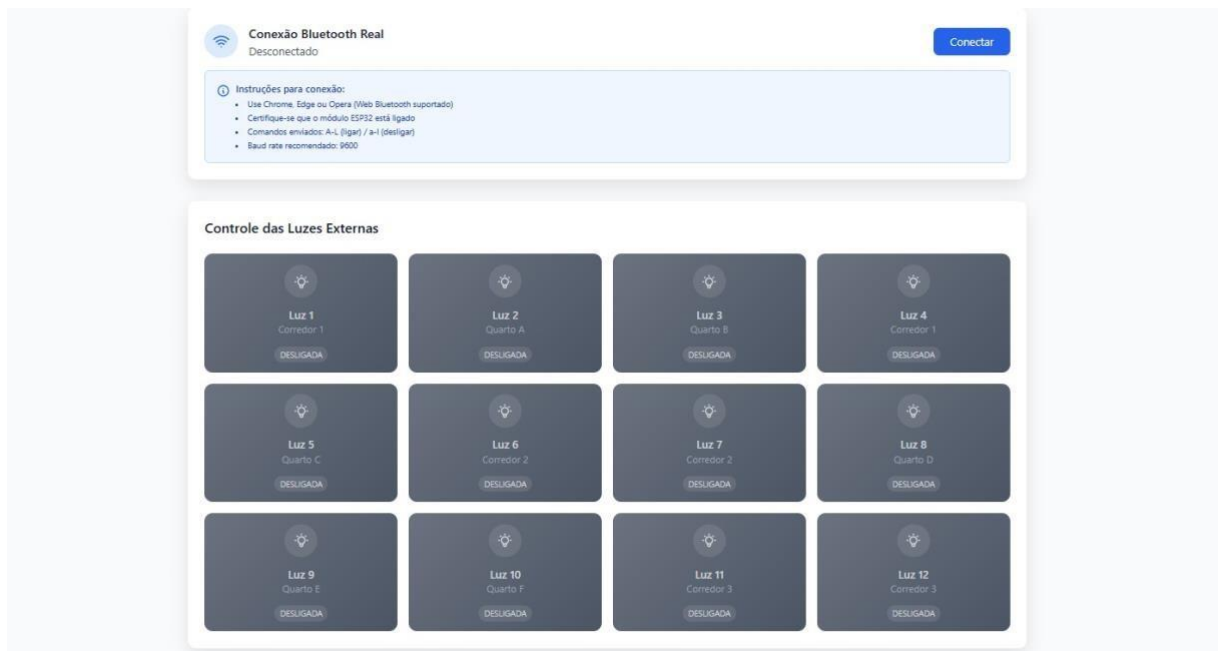
Camada Embarcada (ESP32): responsável por executar os comandos físicos recebidos via Bluetooth.

Figura 15 - Login CondoManager



Fonte: Própria

Figura 16 - Controle de Iluminação CondoManager



Fonte: Própria

4.2.4.1 Linguagens e Tecnologias Utilizadas

HTML (HyperText Markup Language): define a estrutura da interface do aplicativo, com telas de login, painéis de controle e seções específicas para acionamento de dispositivos.

CSS (Cascading Style Sheets): responsável pela aparência e responsividade da interface, garantindo um design moderno e fluido.

JavaScript (JS): implementa a interatividade e a lógica do sistema web, permitindo que os comandos do usuário sejam convertidos em instruções enviadas ao ESP32 via Bluetooth.

C++: utilizado no código embarcado do microcontrolador ESP32, que controla 12 saídas digitais conectadas a LEDs representando pontos de iluminação do condomínio.

A comunicação ocorre através da biblioteca NimBLEDevice, que implementa o protocolo Bluetooth Low Energy (BLE). Cada comando enviado pela interface web é interpretado pelo ESP32, alterando o estado dos LEDs conforme o caractere recebido.

Letras maiúsculas (A–L) acendem LEDs específicos;

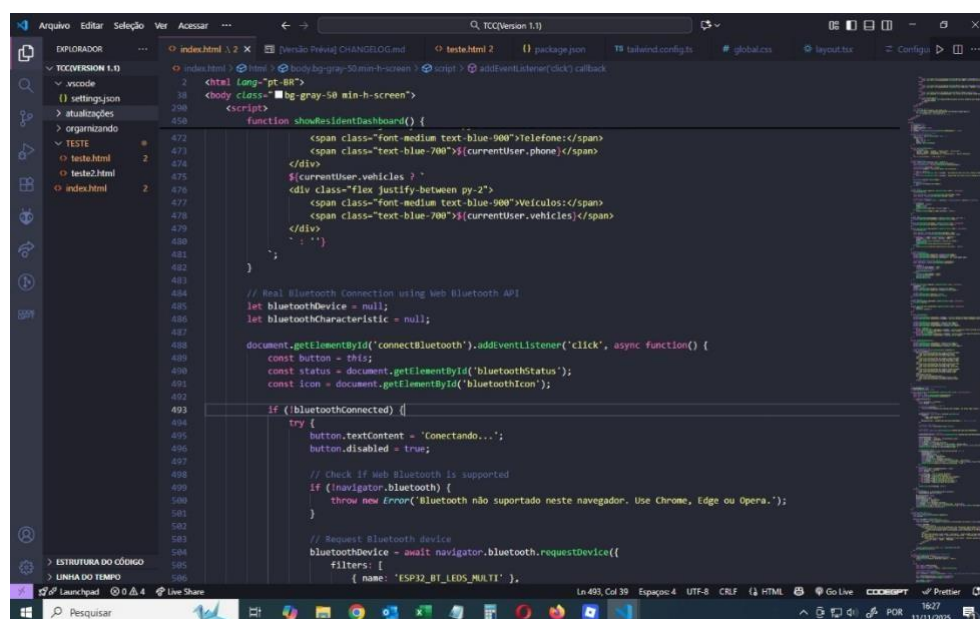
Letras minúsculas (a–l) apagam os mesmos LEDs;

O caractere X liga todos os LEDs simultaneamente;

O caractere x desliga todos os LEDs.

O código embarcado utiliza callbacks para processar os comandos em tempo real e suporta até três conexões simultâneas, operando em alta potência de sinal (nível P9), garantindo estabilidade e alcance satisfatório.

Figura 17 - Programação CondoManager



Fonte: Própria

4.2.4.1 Integração Geral

O funcionamento do sistema ocorre em quatro etapas:

1. O usuário acessa o aplicativo web;
2. Ao acionar um botão de controle (por exemplo, “Ligar luz do corredor 1”), o

JavaScript envia o comando Bluetooth correspondente;

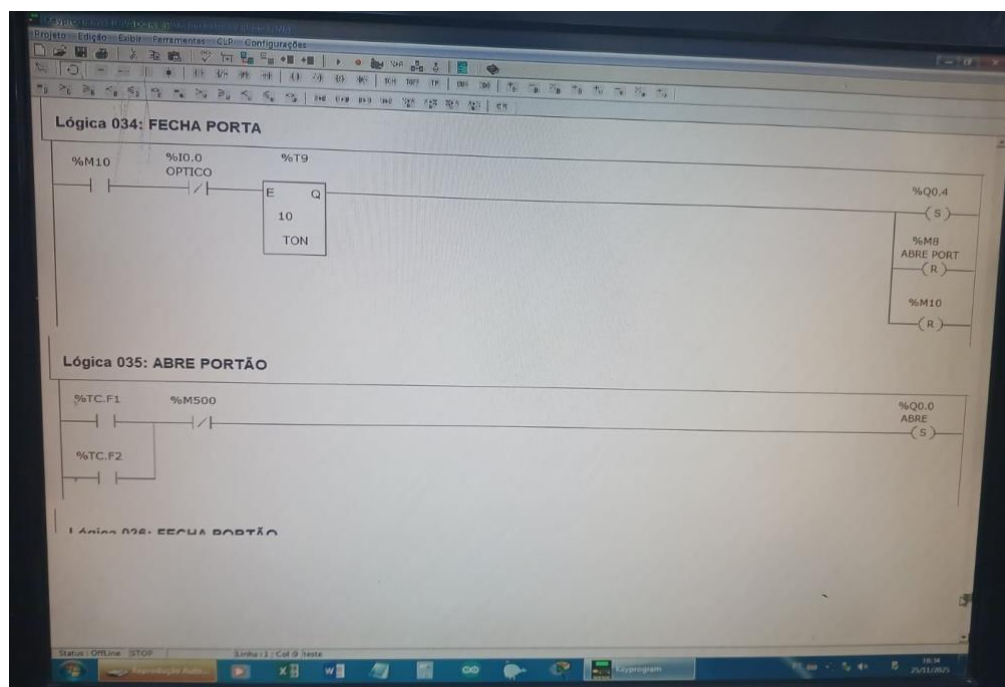
3. O ESP32 recebe o caractere e altera o estado do LED físico;
4. O aplicativo retorna feedback visual, como a mudança de cor do botão, indicando o novo estado do dispositivo.

4.2.5 Garagem + Portão

A garagem foi feita na mesma base onde o prédio foi colocado, ela foi pintada, e demarcada para que a garagem pudesse ser feita, nela foram colocados todos os componentes necessários para construir todo o sistema automatizado que estava previsto, indo de sensores até válvulas.

O sistema da garagem foi desenvolvido para controlar de forma automatizada tanto o acesso de veículos quanto o monitoramento das vagas disponíveis, integrando componentes pneumáticos, sensores, interface homem-máquina (IHM) e o Controlador Lógico Programável (CLP) como unidade central de comando. Toda a lógica de funcionamento foi elaborada em linguagem Ladder.

Figura 18 - Programação Garagem + Portão



Fonte: Própria

O portão da garagem é acionado por dois cilindros pneumáticos de dupla ação, responsáveis pela abertura e fechamento das estruturas que simulam os portões de entrada e saída. Cada cilindro está conectado a uma válvula 5/2 vias com acionamento

por solenoide, controlada eletricamente pelo CLP. A sequência de funcionamento é executada conforme a programação Ladder, que determina os momentos de acionamento das válvulas, garantindo o movimento dos portões.

O ar comprimido necessário para o funcionamento dos atuadores pneumáticos é fornecido por um compressor de ar, que alimenta as válvulas 5/2 com a pressão adequada para o acionamento dos cilindros. Assim, o sistema mantém a força e a precisão exigidas para a movimentação dos portões de entrada e saída.

As válvulas 5/2 vias controlam o fluxo de ar comprimido, alternando entre as posições de avanço e retorno dos cilindros. Conectada diretamente ao CLP, ela é acionada automaticamente conforme os comandos definidos na programação ou, alternativamente, de forma manual através de um controle portátil, permitindo a operação local em situações específicas.

Para o controle de acesso e segurança, o sistema conta com dois tipos de sensores:

Sensores indutivos, instalados nas vagas de estacionamento, detectam a presença de veículos e enviam sinais ao CLP.

Sensor óptico, instalado na entrada da garagem, tem a função de impedir o fechamento do portão enquanto houver passagem de veículos, evitando colisões e garantindo a integridade física do sistema.

Além disso, quando todas as vagas estão ocupadas, o CLP, de acordo com a lógica programada, bloqueia automaticamente a abertura do portão de entrada, mantendo operante apenas o portão de saída. Essa função assegura controle eficiente de acesso, prevenindo a tentativa de entrada quando não há vagas disponíveis.

Com essa integração entre componentes pneumáticos, sensores, CLP e IHM, o sistema da garagem e portão automatizado demonstra um funcionamento inteligente e eficiente, simulando de forma fiel o controle de acesso e monitoramento de vagas de um ambiente real.

5 RESULTADOS

Os sistemas de automação propostos foram integralmente implementados em um modelo em escala reduzida, permitindo a demonstração prática e didática do funcionamento de um edifício inteligente com sistemas integrados. O protótipo final é composto por três subsistemas principais – iluminação inteligente, elevador

automatizado e garagem com portão pneumático –, todos controlados de forma coordenada por meio de CLPs, microcontrolador ESP32 e o aplicativo CondoManager.

O resultado do projeto pode ser dividido em duas dimensões: a implementação física (hardware) e a implementação lógica e de interface (software).

5.1 FUNCIONAMENTO INTEGRADO DO SISTEMA

O modelo em escala opera de forma autônoma e integrada, simulando cenários reais de uso. O aplicativo CondoManager, acessível via navegador web em dispositivos móveis, permite o controle remoto da iluminação interna e externa do prédio, com interface responsiva e feedback visual em tempo real. O sistema de iluminação respondeu com estabilidade aos comandos enviados via Bluetooth, com tempos de resposta inferiores a 1 segundo.

O elevador, programado em Ladder e controlado por CLP, executa com precisão os comandos de deslocamento entre os andares, utilizando sensores indutivos como fins de curso. A IHM integrada exibe em tempo real a posição atual da cabine e o andar de destino, validando a lógica de controle implementada.

Já o sistema da garagem demonstrou controle eficiente de acesso e ocupação. Os portões pneumáticos abrem e fecham conforme a disponibilidade de vagas, detectadas por sensores indutivos. Em situações de lotação, o portão de entrada é automaticamente bloqueado, enquanto o sensor óptico impede o fechamento do portão durante a passagem de veículos, assegurando condições de segurança.

5.2 APLICATIVO CONDOMANAGER

O aplicativo foi desenvolvido como uma Progressive Web App (PWA), com interface intuitiva e acesso por meio de login de usuário. A tela principal permite o acionamento individual ou em grupo dos LEDs que representam a iluminação dos apartamentos e corredores. Foram implementadas funções diferenciadas para moradores e administradores, com controle granular dos dispositivos.

A comunicação entre o aplicativo e o ESP32 ocorre via Bluetooth Low Energy (BLE), utilizando a Web Bluetooth API. O sistema suporta até três conexões simultâneas, com estabilidade de sinal em ambiente controlado.

5.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

- Controle estável da iluminação via aplicativo, com alcance Bluetooth de até 10 metros em ambiente interno;
- Precisão de parada do elevador com margem de erro inferior a 5 mm;
- Detecção confiável de veículos pelos sensores indutivos na garagem;
- Operação sincronizada entre os sistemas, sem conflitos de comando ou comunicação.

5.3 LIMITAÇÕES

- O controle remoto via aplicativo está restrito à rede local Bluetooth;
- A estrutura em MDF mostrou-se suscetível a vibrações durante o movimento do elevador;

5.4 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Este projeto comprovou a viabilidade técnica e didática da integração de sistemas de automação industrial em um contexto predial inteligente, utilizando tecnologias acessíveis e amplamente disponíveis. O modelo desenvolvido serve como ferramenta educacional para o curso técnico em Automação Industrial, ilustrando na prática conceitos de CLP, pneumática, IoT e desenvolvimento de interfaces.

Além disso, o aplicativo CondoManager representa uma alternativa de baixo custo para sistemas de supervisão residencial, podendo ser adaptado para aplicações reais em condomínios de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

COELHO, Darlene Figueiredo Borges; CRUZ, Victor Hugo do Nascimento. Edifícios inteligentes: uma visão das tecnologias aplicadas. São Paulo: Edgard Blücher, 2017.

FAVORETO, Daniela. Sistema de controle para automação de edifícios ITER. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2024.

PROCEL. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Eletrobras, 2021.
Disponível em: <https://www.procelinfo.com.br/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

PAREDE, Ismael Moura; GOMES, Luiz Eduardo Lemes; HORTA, Edson. Eletrônica: automação industrial. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011. (Coleção Técnica Interativa. Série Eletrônica, v. 6).

GROOVER, Mikell P. Automation: Technology, types, rise, history & examples. Encyclopaedia Britannica, 24 out. 2025. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/automation>. Acesso em: 11 nov. 2025.

ITECHOME. «AURESIDE». Disponível em: <https://www.itechome.com.br/aureside>. Acesso em: 11 nov. 2025.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. Portal “Procel Info”. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/>. Acesso em: 11 nov. 2025.

PETRUZELLA, Frank D. Controladores lógicos programáveis. 4. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2014.

NEPIN. Sistema pneumático: o que é e como ele funciona. Disponível em: <https://www.nepin.com.br/blog/solucoes-industriais/sistema-pneumatico-o-que-e-e-como-efunciona/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SMC AUTOMAÇÃO DO BRASIL. Automação Industrial | SMC – Automação do Brasil. São Bernardo do Campo: SMC Automação do Brasil, 2023. Disponível em: <https://smcbr.com.br/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

ROCKETSEAT. Como começar com HTML e CSS. Rocketseat Blog, [s.l.], [202?]. Disponível em: <https://www.rocketseat.com.br/blog/artigos/post/como-comecar-com-html-e-css>. Acesso em: 12 nov. 2025.

FLANAGAN, David. JavaScript: o guia definitivo. 6. ed. Tradução de João Eduardo Nóbrega Tortello. Revisão técnica de Luciana Nedel. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FULTON, R. Progressive Web Apps Explained. 2023. Disponível em: <https://web.dev/progressive-web-apps/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

ESPRESSIF SYSTEMS. Site oficial. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.espressif.com>. Acesso em: 12 nov. 2025.

LOCAWEB. C++: guia sobre a linguagem de programação. Blog LocaWeb, 2024. Disponível em: <https://www.locaweb.com.br/blog/temas/codigo-aberto/c-plus-plus/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

BLUETOOTH SIG. Technology Overview. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM (W3C). Site oficial. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.w3.org/>. Acesso em: 12 nov. 2025

MOZILLA DEVELOPER NETWORK(MDN). Web Bluetooth API. [S. l.], 2023. Disponível em: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Bluetooth_API. Acesso em: 12 nov. 2025.

AUTOMATE LAB. Introduction to ESP32. [s.l.], 9 meses atrás. Disponível em: <https://www.automatelab.online/post/introduction-to-esp32>. Acesso em: 12 nov. 2025.

GREEN PROPHET. The history of energy-saving LEDs. Green Prophet, [s.l.], 6 mar. 2017. Disponível em: <https://www.greenprophet.com/2017/03/the-history-of-energy-saving-leds/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

MERCADO LIVRE. Cilindro pneumático mini 20x50 ISO 6432 MA20x50S. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/cilindro-pneumatico-mini-20x50-iso-6432ma20x50s/up/MLBU2174526938>. Acesso em: 12 nov. 2025.

HAVAN. Mini compressor de ar 12V 250PSI Kala bivolt. Disponível em: <https://www.havan.com.br/mini-compressor-de-ar-12v-250psi-kala-bivolt/p>. Acesso em: 12 nov. 2025.

MERCADO LIVRE. Válvula solenoide 24V 5/2 vias 1/4" pneumática mangueira 6 mm. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/valvula-solenoide-24v-52-vias-14pneumatica-mangueira-6mm/up/MLBU1560299797>. Acesso em: 12 nov. 2025.

PACSHOP. Placa de fenoliteilhada 5 × 7 cm (kit 10 peças). Disponível em: <https://www.pacshop.com.br/item/placa-de-fenolite-ilhada-5-x-7-cm-pcb-perfurada-kit-10pecas>. Acesso em: 12 nov. 2025.

LEMAQS AUTOMAÇÃO. Sensor indutivo M18 PNP LJ18A3-5-ZBY. Disponível em: <https://www.lemasautomacao.com.br/sensor-indutivo-m18-pnp-lj18a3-5-zby/prod-9880352/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

ELETROLÍCO. Sensor óptico por barreira emissor metálico EO30-30G1LD – WEG. Disponível em: <https://www.eletrolico.com.br/sensores-fotoeletricos/sensor-optico-por-barreira-emissormetalico-eo30-30g1ld-weg>. Acesso em: 12 nov. 2025.

KEYLOGIX. Produtos e soluções em automação industrial. Disponível em: <https://www.keylogix.com.br/6.html>. Acesso em: 12 nov. 2025.

KALATEC. O que é IHM (Interface Homem-Máquina). Blog Kalatec, 2023. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/o-que-e-ihm/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

MERCADO LIVRE. Relé sensor fotocélula fotoelétrico automático para lâmpada bivolt. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/rele-sensor-fotocelula-fotoeletricoautomatico-lampada-bivol/up/MLBU734569803>. Acesso em: 23 nov. 2025