

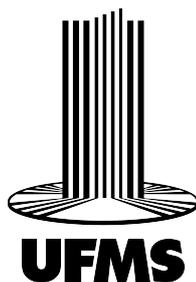
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

**Uso do CLP ATOS MPC6006 para
Monitoramento e Segurança Física de
Ambientes Destinados a Datacenters de
Pequeno Porte**

Pedro Henrique Conte de Araujo

Campo Grande - MS

Dezembro de 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Uso do CLP ATOS MPC6006 para Monitoramento e Segurança Física de Ambientes Destinados a Datacenters de Pequeno Porte

Pedro Henrique Conte de Araujo

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como exigência para obtenção do grau de Ba-
charelado em Engenharia de Computação da
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS.

Orientador: Prof. Dr. Ruben Barros Godoy

Campo Grande - MS

Dezembro de 2024

Uso do CLP ATOS MPC6006 para Monitoramento e Segurança Física de Ambientes Destinados a Datacenters de Pequeno Porte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia de Computação da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ruben Barros Godoy

Prof. Dr. Edson Antonio Batista

Prof. Dr. Victor Leonardo Yoshimura

Campo Grande - MS

Dezembro de 2024

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, por todo apoio e incentivo ao longo desta jornada. Agradeço também aos professores que tive durante a graduação, cujos ensinamentos e orientações foram essenciais para meu crescimento acadêmico e profissional. Minha gratidão se estende aos laboratórios PET Sistemas e BATLAB, que proporcionaram um ambiente colaborativo. Um agradecimento especial aos colegas que tive ao longo da faculdade. A amizade e a parceria de vocês foram indispensáveis, seja nos momentos de aprendizado, seja nos desafios enfrentados juntos. O apoio mútuo fez toda a diferença em minha jornada. Por fim, um agradecimento especial ao meu orientador, que acreditou em mim mesmo quando eu duvidava de minhas capacidades. Sua confiança e orientação foram fundamentais para que este Trabalho fosse realizado, e sou profundamente grato por sua paciência, incentivo e dedicação.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema de monitoramento e segurança para servidores de pequeno porte, integrando sensores e atuadores a um Controlador Lógico Programável (CLP), visando garantir a estabilidade operacional e prevenir falhas. O sistema foi testado em bancada, onde foram utilizados sensores de áudio, temperatura, pressão gaussiana e gás, e atuadores, como relés, motor trifásico e um inversor, para representar um sistema de exaustão de pequeno porte. O CLP foi programado de acordo com o padrão IEC 61131-3 para fazer a leitura dos sensores, ligar o motor em caso de fumaça detectada, e comunicar localmente alertas e falhas. A implementação prática deste projeto possibilitou a validação da capacidade do CLP em atender a demanda de automação de processo. Além disso, o projeto promoveu o aprendizado sobre o processo de automação industrial, especialmente na integração de diferentes dispositivos e na aplicação dos conceitos de monitoramento em um contexto prático. Como parte dos trabalhos futuros, o objetivo é superar as limitações de hardware enfrentadas durante o desenvolvimento (leitura do sensor de umidade, controle dinâmico do motor, comunicação remota via WI-FI e condicionamento ao ambiente do laboratório) e expandir as funcionalidades do sistema, incluindo a incorporação de novos sensores e a implementação de recursos avançados de diagnóstico e análise preditiva.

Palavras-chaves: CLP, Datacenter, Automação Industrial.

Abstract

This work aimed to develop a monitoring and security system for small-scale servers, integrating sensors and actuators with a Programmable Logic Controller (PLC) to ensure operational stability and prevent failures. The system was tested on a bench setup using audio, temperature, Gaussian pressure, and gas sensors, along with actuators such as relays, a three-phase motor, and an inverter to simulate a small-scale exhaust system. The PLC was programmed according to the IEC 61131-3 standard to read sensor data, activate the motor in case of smoke detection, and locally communicate alerts and failures. The practical implementation of this project validated the PLC's capability to meet the automation process demands. Furthermore, the project facilitated learning about industrial automation processes, particularly in integrating various devices and applying monitoring concepts in a practical context. As part of future work, the aim is to overcome the hardware limitations faced during development (humidity sensor reading, dynamic motor control, remote communication via Wi-Fi, and laboratory environment adaptation) and to expand the system's functionalities, including the incorporation of new sensors and the implementation of advanced diagnostic and predictive analysis features.

Keywords: PLC, Data Center, Industrial Automation.

Lista de ilustrações

Figura 1	–	datacenters tradicionais	17
Figura 2	–	Integração dos sensores em um datacenter	19
Figura 3	–	Classe de Disponibilidade X Topologia	21
Figura 4	–	CLP Atos 6006.28R	23
Figura 5	–	Fonte de bancada	24
Figura 6	–	Termopar tipo J escolhido	25
Figura 7	–	Curva Leitura de temperatura no módulo vs temperatura do termômetro	26
Figura 8	–	Pinagem do MPX5700GP	27
Figura 9	–	MPX5700GP conectado na protoboard	27
Figura 10	–	Output vs. Pressão Diferencial	28
Figura 11	–	Conexão do sensor de áudio na protoboard	29
Figura 12	–	Curva de sensibilidade do sensor MQ-2	30
Figura 13	–	Curva de sensibilidade de fumaça	31
Figura 14	–	MQ2 conectado na protoboard	32
Figura 15	–	Lâmpadas conectadas aos relés	33
Figura 16	–	Motor de teste	33
Figura 17	–	Diagrama de blocos do inversor MICRO MASTER	34
Figura 18	–	Conexão do motor com o inversor	35
Figura 19	–	Fluxograma da leitura de temperatura e pressão	36
Figura 20	–	Fluxograma geral da leitura de áudio	36
Figura 21	–	Fluxograma da subrotina do sensor de áudio	37
Figura 22	–	Fluxograma do Programa 2	37
Figura 23	–	Fluxograma do Programa 3	37
Figura 24	–	Programação da leitura do termopar	38
Figura 25	–	Programação da leitura do MPX5700GP	38
Figura 26	–	Programação da leitura do sensor de áudio	39
Figura 27	–	Coleta das amostras para cálculo do RMS	40
Figura 28	–	Cálculo do RMS	41
Figura 29	–	Leitura da saída do MQ2	41
Figura 30	–	Cálculo em ppm	41
Figura 31	–	Comunicação local e controle da energia dos computadores	42
Figura 32	–	Caso de erro de leitura dos sensores	43
Figura 33	–	Função de processamento de sinais	44
Figura 34	–	Bloco Funcional para verificar a leitura dos sensores	44

Figura 35	–	Bloco Funcional para cálculo da histerese	45
Figura 36	–	Temperatura alta detectada	46
Figura 37	–	Pressão Negativa detectada	46
Figura 38	–	Ruido detectado	47
Figura 39	–	Fumaça detectada detectada	47
Figura 40	–	Motor digitalmente ativado	47
Figura 41	–	Caso de falha nas leituras dos sensores	47

Lista de tabelas

Tabela 1 –	Temas pertinentes em trabalhos sobre CLP e quantidade de trabalhos encontrados	12
Tabela 2 –	Características dos Sensores Ambientais	24
Tabela 3 –	Leitura e temperatura do termopar	25
Tabela 4 –	Tabela de PPM e valores de R_s/R_o para o sensor MQ-2	31
Tabela 5 –	Valores de referência para sensores e atuadores.	48

Sumário

1	Introdução	10
2	Fundamentação teórica	12
2.1	Segurança de CLPs e Cibersegurança	12
2.2	Automação de Processos Industriais com CLPs	13
2.3	Automação e Monitoramento em Datacenter	16
2.3.1	Infraestrutura de um Datacenter	17
2.3.2	Estratégias de monitoramento	19
2.3.3	Normas da ABNT	21
3	Metodologia	23
3.1	Configuração e Integração dos Sensores e Atuadores	24
3.1.1	Conexão com o Termopar	25
3.1.2	Conexão com o sensor de pressão	26
3.1.3	Conexão com o sensor de áudio	28
3.1.4	Conexão com o sensor de fumaça	29
3.1.5	Atuadores	32
3.2	Implementação do Sistema no CLP	35
3.2.1	Programa 1	38
3.2.2	Programa 2	41
3.2.3	Programa 3	42
3.2.4	Funções e Blocos Funcionais auxiliares	43
4	Resultados	46
4.1	Limitações	48
	Conclusão	51
	Referências	52

1 Introdução

A globalização, a urbanização crescente e as tendências demográficas, como o aumento populacional e a digitalização, têm impulsionado a geração e o tráfego de dados em níveis sem precedentes (GENG, 2021). À medida que mais pessoas se conectam à internet, utilizam serviços baseados em nuvem e adotam dispositivos inteligentes, a demanda por armazenamento e processamento de informações cresce (KUROSE; ROSS, 2010). Este fenômeno exige a criação e expansão de datacenter, que funcionam como o coração digital das operações modernas, suportando desde redes sociais até transações financeiras globais.

Para lidar com esse volume crescente de dados e evitar congestionamentos, os datacenters precisam ser projetados com tecnologia de ponta que garanta alta capacidade de armazenamento, velocidade no processamento e confiabilidade operacional (KUROSE; ROSS, 2010). Além disso, a manutenção de condições ambientais adequadas é necessária para evitar falhas e prolongar a vida útil dos equipamentos (GENG, 2021). Nesse contexto, os sistemas de monitoramento e controle ambiental desempenham um papel indispensável ao garantir que os datacenters operem dentro de parâmetros ideais, promovendo estabilidade e desempenho contínuo.

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) surgiram como uma solução baseada em microprocessadores para substituir os circuitos de lógica de relés na automação industrial (LOVE, 2007). Existem três tipos principais de arquiteturas, fixas, modulares e distribuídas.

Na arquitetura fixa, todos os componentes estão integrados em uma única unidade, incluindo processador, interface de entrada e saída (I/O), interface de comunicação, fonte de alimentação e memórias para programas e dados. Já a arquitetura modular permite maior flexibilidade, separando os componentes em módulos intercambiáveis conectados por um sistema de montagem. A arquitetura distribuída, por sua vez, é utilizada em grandes instalações, permitindo a interconexão de hardware por meio de links de comunicação para controle em larga escala (MAESSCHALCK et al., 2023).

Os programas embarcados em CLP realizam a lógica operacional para monitorar e controlar processos industriais. Estes programas interagem com sensores e atuadores, mas também podem realizar funções adicionais, como configurar protocolos de rede e realizar trocas de dados entre CLPs (MAESSCHALCK et al., 2023). De acordo com o padrão BSI/IEC 61131-3, cinco linguagens de programação são utilizadas em CLPs, *Ladder Diagrams*, *Function Block Diagrams*, *Sequential Function Charts*, *Instruction Lists* e *Structured Text* (British Standards Institute, 2013).

Esses programas são organizados em Unidades Organizacionais de Programa, que incluem programas principais, blocos de função que armazenam valores permanentemente, funções específicas para cálculos ou operações, e blocos de variáveis para armazenamento de dados globais ou locais (DERBYSHIRE; GREEN; HUTCHISON, 2021). Além disso, fornecedores de CLPs oferecem bibliotecas com funções pré-testadas, conhecidas como conjuntos de instruções, que tornam o desenvolvimento mais eficiente e confiável ao reduzir erros e acelerar a implementação de soluções industriais (SIEMENS, 2019).

Diante desse cenário, este Trabalho objetiva desenvolver em uma bancada o monitoramento e controle ambiental de servidores por meio de um CLP, selecionando os sensores e atuadores, assegurando a precisão dos dados coletados, testando e validando o sistema em condições simuladas e reais de operação, e criando um sistema local de comunicação de falhas. De tal maneira, busca, também, promover o aprendizado sobre o processo de automação industrial e replicar esse processo na bancada, permitindo uma aplicação prática dos conceitos adquiridos.

Este trabalho está organizado em capítulos que apresentam, de forma sistemática, o desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle ambiental para datacenter. Inicialmente, os conceitos teóricos e as bases tecnológicas que sustentam o projeto são apresentados, abordando os sensores, atuadores e o funcionamento do CLP, além de suas aplicações no contexto industrial. Em seguida, é detalhada a metodologia adotada, desde a seleção e configuração dos dispositivos até a implementação dos programas no CLP, garantindo a integração eficaz dos componentes. Por fim, os resultados obtidos são apresentados e analisados, evidenciando a eficácia do sistema desenvolvido e sua capacidade de atender às demandas de um ambiente de datacenter moderno e confiável.

2 Fundamentação teórica

Para investigar os temas contemporâneos relacionados ao uso de CLPs, foi realizada uma busca no portal da CAPES usando a simples *string* de busca (“CLP” OR “PLC”). Essa consulta filtra produções nacionais e internacionais, revisadas por pares, nas áreas de Ciências Exatas, da Terra e Engenharia, em português e inglês, publicadas a partir do ano de 2010. Na [Tabela 1](#), organiza-se os temas e a quantidade de trabalhos correlatos.

Tabela 1 – Temas pertinentes em trabalhos sobre CLP e quantidade de trabalhos encontrados

Temas	Artigos
Segurança de CLPs e Cibersegurança	21
Aplicações e Integração de CLPs	26
Indústria 4.0 e CLPs	11
Machine Learning em CLPs	2
Otimização e Eficiência de CLPs	2
Educação e Treinamento com CLPs	3

Como segurança e vulnerabilidades em CLPs e automação de processos industriais foram os temas mais frequentes na revisão, é importante analisar os aspectos discutidos nos artigos relacionados a essas áreas, pois refletem questões relevantes e atuais no uso e desenvolvimento de CLPs. Contudo, considerando que o foco deste trabalho é o monitoramento físico de datacenters e servidores, é necessário expandir a fundamentação teórica para conectar o uso de CLPs a esse contexto específico.

2.1 Segurança de CLPs e Cibersegurança

Embora os CLPs sejam dispositivos confiáveis, *malwares* como o *Stuxnet*, capaz de modificar o sistema operacional e manipular arquivos, *logs* e processos, mascararam sua presença a fim de espionar maliciosamente, atacar, comprometer ou explorar outras máquinas para iniciar ataques em outros sistemas ([LANGNER, 2011](#)).

A partir de ataques como esses, [Serhane et al. \(2019\)](#), em sua revisão sobre o estado da arte dos principais dispositivos baseados em CLP, juntamente com suas preocupações de segurança, descreve as ameaças e vulnerabilidades associadas aos CLPs e seus sistemas representam um risco crescente em ambientes industriais. Estas vulnerabilidades podem ser divididas nas seguintes categorias principais: vulnerabilidades no código do CLP, vulnerabilidades específicas dos CLPs, vulnerabilidades em HMI e terminais de dados remotos (DTU), vulnerabilidades em dispositivos de campo e falhas na segmentação de rede.

O próprio código do CLP pode abrigar ameaças graves. Por exemplo, falhas no gerenciamento de alarmes e falhas, a inserção de instruções falsas ou códigos que espionam dados sensíveis, problemas como estouro de dados, instruções duplicadas e tags não utilizadas, valores codificados diretamente no código, condições de corrida causadas por ramificações de código inadequadas e a desconsideração de avisos de compilação (SERHANE et al., 2019).

Além do código em si, os próprios CLPs possuem vulnerabilidades intrínsecas. A falta de atualizações frequentes e a ausência de antivírus contribuem para que esses sistemas sejam suscetíveis a ataques. Além disso, muitos CLPs também carecem de mecanismos para verificar a autenticidade de códigos carregados, permitindo a inserção de código malicioso sem detecção (SERHANE et al., 2019).

Em dispositivos de campo, as ameaças são igualmente críticas. Dispositivos que operam em conjunto com os CLPs, como sensores e atuadores, podem ter seus dados manipulados, fornecendo leituras falsas ou comandos incorretos ao sistema. Essa adulteração, sem a modificação do código do CLP, pode levar a falhas operacionais graves e colocar em risco a segurança de equipamentos, pessoas e do ambiente (SERHANE et al., 2019).

As vulnerabilidades da arquitetura dos sistemas baseados em CLP também contribuem significativamente para os riscos. Pois, muitos desses sistemas utilizam redes e protocolos de comunicação amplamente conhecidos que, embora aumentem a interoperabilidade, também tornam os sistemas menos obscuros para hackers. A falta de mecanismos de segurança nesses protocolos expõe a rede a uma variedade de ataques, como manipulação de pacotes, invasão por intermediários (MITM), ataques de negação de serviço (DoS) e invasões na camada de transporte e de aplicação (SERHANE et al., 2019).

Dado esse cenário de ameaças, (SERHANE et al., 2019) recomenda adotar uma abordagem que priorize a segurança na implementação e manutenção de sistemas CLP-BS. Portanto, é preciso uma avaliação detalhada de riscos, desenvolvimento de respostas rápidas, padronização de procedimentos de segurança, adotar medidas de segurança robustas pode reduzir significativamente os riscos e aumentar a resiliência desses sistemas industriais frente às ameaças cibernéticas.

2.2 Automação de Processos Industriais com CLPs

Este subtópico analisa como diferentes estudos aplicaram os CLPs em sistemas de automação industrial, destacando as soluções implementadas, os desafios enfrentados e os resultados alcançados.

Durães, Kida e Prates (2023) abordaram a automação de sistemas de captação de águas subterrâneas, com foco em poços artesianos, utilizando Redes de Petri para mo-

delar eventos discretos do sistema. A modelagem foi convertida para linguagem *Ladder*, permitindo a implementação em CLPs. A aplicação visou tanto pequenos quanto grandes sistemas de irrigação, com resultados que demonstraram a viabilidade da automação para prever estados do sistema, identificar falhas e melhorar o desempenho em diferentes condições operacionais.

Silva e Carneiro (2019) desenvolveram um protótipo de sistema para supervisão e controle do fluido de perfuração em plataformas *onshore*, utilizando um CLP. Este foi programado para interagir com o sinótico de controle do software de supervisão, gerenciando o funcionamento da bomba, válvulas solenoides e o fluxo do fluido. A pesquisa incluiu a elaboração de circuitos elétricos e a construção de uma planta didática que simula o processo real. Esse protótipo visou aprimorar a capacitação profissional de estudantes na área de petróleo e gás, destacando a importância da supervisão eficiente e os aspectos econômicos e legais do setor.

Arowolo, Adekunle e Opeyemi (2020) projetaram e implementaram uma estação de treinamento de CLP para aplicações de automação industrial. O sistema utiliza o módulo Mitsubishi FX 1S-30MR-001 e softwares de programação e simulação da mesma fabricante. A estação inclui entradas como botões e interruptores, e saídas como buzzer, luzes indicadoras e soprador. Além disso, o controle conta com componentes como temporizador e relé. O artigo apresentou dois cenários de controle automático para treinar participantes e avaliar a aplicação prática do trainer. Após o treinamento, uma pesquisa indicou um aumento significativo no conhecimento dos participantes sobre programação e design de módulos para CLPs.

Hennig et al. (2020) analisaram e compararam o uso de CLPs nos sistemas de controle e aquisição de dados (CoDaC) dos projetos JET (Joint European Torus) e Wendelstein 7-X, ambos relacionados à pesquisa em fusão nuclear. No JET, foi desenvolvido um protocolo HTTP proprietário ("black box protocol") para comunicação com sistemas externos, usando uma camada de software que integra a comunicação específica do CLP com o protocolo proprietário. Por outro lado, no Wendelstein 7-X, cada CLP utiliza uma comunicação específica com o CoDaC, projetada no próprio CLP e configurável no lado do CoDaC, usando um protocolo baseado em UDP com observação de timeouts. A abordagem no Wendelstein 7-X é padronizada, permitindo uma única implementação para comunicação com qualquer CLP, enquanto os dados medidos são arquivados no sistema de armazenamento em massa, e os pontos de ajuste podem ser visualizados no ambiente do CLP.

Hulewicz e Dziarski (2019) analisaram o uso de CLPs em sistemas de controle distribuído (DCS) como uma alternativa aos sistemas DCS comerciais. O estudo destacou as funcionalidades, os requisitos e os custos de instalação e operação dos sistemas baseados em CLPs em comparação com os DCS convencionais. A arquitetura e a estrutura dos

DCS implementados com CLPs foram descritas em detalhes, com foco na alocação dos componentes do sistema nas camadas apropriadas da estrutura. A abordagem demonstrou a viabilidade de usar CLPs para criar sistemas DCS mais acessíveis e funcionais.

[Tirian et al. \(2020\)](#) utilizaram o software Simatic Manager Step 7 para programar um CLP Simatic S7-300, implementando um sistema adaptativo para otimizar o fluxo de água na zona de resfriamento secundário de fundição contínua. Os dados de entrada e os cálculos necessários foram processados a partir de uma base de dados operada anteriormente por humanos, permitindo o controle automático da abertura de válvulas. O sistema eliminou a necessidade de intervenção humana nos parâmetros de controle, otimizando o processo de resfriamento.

[Chen et al. \(2022\)](#) projetaram e aplicaram um sistema de medição e controle de temperatura e pressão para sedimentos marinhos usando um CLP Omron CP1H. O sistema foi controlado e monitorado através de software, baseado no protocolo de comunicação HostLink e nos comandos FINS e C-mode. O software foi desenvolvido na plataforma Visual Studio 2010, utilizando controles como SerialPort, Timer e Chart para realizar a comunicação, aquisição de dados e visualização de curvas em tempo real. O sistema foi validado por meio de medições reais, demonstrando sua confiabilidade e estabilidade na detecção automática de temperatura e pressão nos sedimentos do fundo marinho.

[Groen et al. \(2013\)](#) utilizam o sistema CoDaC para integrar vários subsistemas de hardware, como sensores e atuadores, com redes de CLPs e sistemas computacionais. O projeto de software modular e escalável foi desenvolvido para integrar as interfaces de controle e aquisição de dados do Magnum-PSI, um gerador de plasma linear utilizado para estudar interações plasma-superfície sob condições do desviador ITER. O CoDaC foi projetado para ser expansível, com funcionalidades de controle e comunicação através de diversos níveis de software, desde o nível de hardware até as classes de programação.

[Marné et al. \(2017\)](#) controlam os manipuladores no ASDEX Upgrade, um dispositivo de fusão, por sistemas baseados em CLPs da linha S7 Simatic. Os manipuladores são usados para posicionar diagnósticos ou amostras perto do plasma sem comprometer o vácuo, e são controlados por motores servo e controladores de motor da mesma linha, integrados com o sistema de controle ASDEX Upgrade. A abordagem para padronizar os sistemas de controle e hardware visou simplificar a manutenção e operação. A integração dos manipuladores no sistema de controle do ASDEX Upgrade foi feita de forma modular, garantindo a compatibilidade com outras partes do sistema e a operação eficiente.

[Mei, Zhang e Hongqiang \(2017\)](#) aplicam o CLPs em sistemas de controle de motores de passo e servo-motores em linhas de produção automatizadas e flexíveis. A pesquisa aborda como gerenciar a interação entre vários motores em uma linha de produção complexa, utilizando estratégias de rede eficientes. A solução proposta utiliza a configuração de comunicação Ethernet + PROFIBUS, baseada em PROFINET IO e Profibus, para

melhorar a eficiência e estabilidade da troca de dados entre os dispositivos e garantir o controle ordenado das operações.

Guili et al. (2020) descrevem a aplicação de um sistema automatizado para inspeção de tambores de resíduos nucleares de baixo nível. O controle e a detecção do sistema são realizados por um CLP Siemens S7-1200, utilizando o software STEP7 para programação e o SIEMENS WinCC para monitoramento. O sistema automatizado é projetado para garantir a eficiência e a segurança do processo de medição e classificação dos resíduos antes de seu armazenamento final, além de proporcionar um controle centralizado, eficiente e seguro, essencial para a operação e descarte adequado desses materiais.

Niculescu, Savescu e Mitru (2018) descrevem um sistema para transmissão de dados de operação de uma instalação remota para um centro de controle centralizado usando um servidor OPC. A solução descrita envolve a utilização de uma infraestrutura de rede segura e estável, onde os dados de operação de 10 compressores são coletados e enviados para a sala de controle através de um servidor OPC, demonstrando como sistemas de controle e automação industrial podem ser integrados com tecnologias de rede para garantir a comunicação eficaz e segura.

Portanto, a automação de processos industriais com CLPs tem se mostrado essencial para melhorar a eficiência, segurança e confiabilidade em diversas indústrias, como energia, manufatura e setor nuclear. A integração com sistemas de controle avançados e protocolos de comunicação tem permitido otimizar operações, reduzir riscos humanos e garantir conformidade com normas de segurança, superando desafios de compatibilidade e disponibilidade de software. Assim, os CLPs desempenham um papel fundamental na modernização e automação de processos críticos.

Embora a literatura analisada demonstre a ampla aplicação de CLPs em variados setores industriais, não foi encontrado um artigo específico que aborde o uso de CLPs em data centers. Contudo, com base nos princípios apresentados nos estudos revisados, é possível perceber que o CLP apresenta potencial para ser aplicado nesse ambiente.

2.3 Automação e Monitoramento em Datacenter

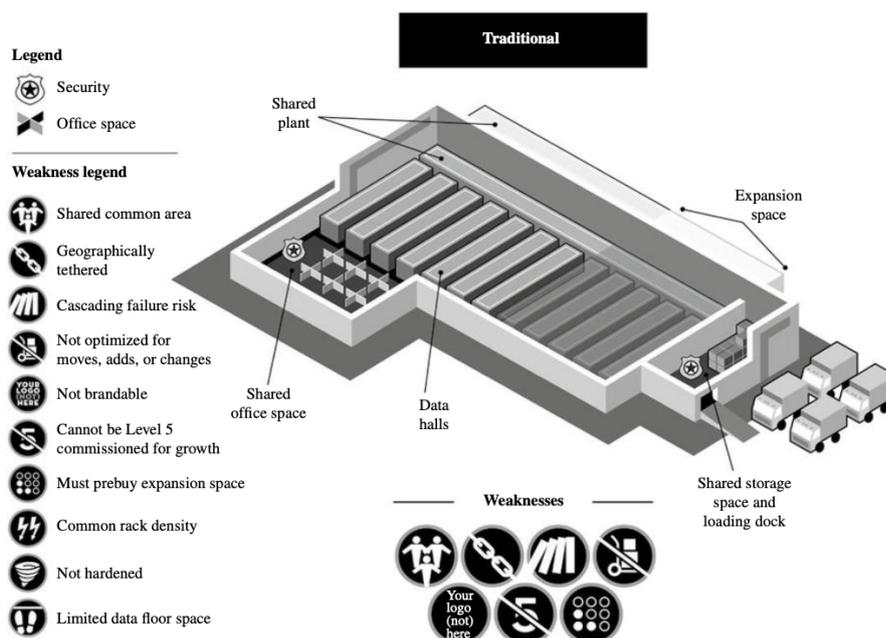
Esta seção aborda os conceitos fundamentais sobre datacenter, explicando sua infraestrutura, e discutindo as principais estratégias de monitoramento físico e operacional utilizadas para garantir a eficiência, a segurança e a continuidade dos serviços nesses ambientes críticos. Bem como uma análise da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) referente a datacenter.

2.3.1 Infraestrutura de um Datacenter

Um datacenter é uma instalação projetada para processar, armazenar e transmitir informações digitais, integrando servidores, sistemas de armazenamento e equipamentos de rede (GENG, 2021). Para garantir sua operação confiável, a arquitetura de sistemas e infraestrutura de um datacenter são compostas por sistemas mecânicos, distribuição elétrica e sistemas de *backup*, gerenciamento de infraestrutura, estratégias de recuperação de desastres e continuidade de negócios, e software e serviços em nuvem (GENG, 2021).

Ao longo dos anos a estrutura física de um datacenter evoluiu significativamente. O design tradicional de datacenter modulares, demonstrado na Figura 1, é uma das abordagens mais comuns, consistindo em instalações, onde os sistemas internos e externos, como plantas de água gelada e geradores, são compartilhados. Embora esses datacenters sejam bem-sucedidos, eles apresentam riscos de falhas em cascata devido ao uso de *back-planes* compartilhados, o que pode afetar a continuidade operacional em caso de falhas no sistema (GENG, 2021).

Figura 1 – datacenters tradicionais



Fonte: (GENG, 2021)

Dentro da infraestrutura, existem dois tipos principais de *racks*: os de 4 postes, que são mais estáveis e recomendados para equipamentos pesados e profundos, e os de 2 postes, que se adequam melhor a ambientes com espaço limitado, mas oferecem menor proteção (GENG, 2021). A norma EIA/CEA-310-E define ainda exigências de construção, como a capacidade de suportar o peso dos equipamentos e a necessidade de ventilação adequada, além de abordar a segurança, com proteção contra danos físicos. Outro ponto importante é a acessibilidade, pois os *racks* devem permitir manutenção e ajustes fáceis

nos equipamentos (ELECTRONIC INDUSTRIES ALLIANCE, 2005).

No que diz respeito ao caminho de entrada, Geng (2021) recomenda a instalação de caixas de manutenção na linha de propriedade, conectadas ao datacenter por conduítes. No caminho interno, as rotas de cabos podem ser instaladas sobre o teto ou abaixo do piso elevado. Quando o cabeamento é feito sobre o teto, o uso de bandejas de cabo é comum, garantindo a manutenção do raio mínimo de curvatura. Por outro lado, cabeamentos sob o piso são simples e de baixo custo, mas exigem uma coordenação cuidadosa com outros sistemas, como os de energia e resfriamento.

Além disso, unidades como sistemas de resfriamento, distribuições de energia (PDU) e fontes de alimentação ininterrupta (UPS) podem ser posicionadas fora da sala de computadores, minimizando a movimentação de pessoas e removendo o calor gerado por esses sistemas (GENG, 2021). Para otimizar o fluxo de ar, os sistemas Condicionadores de Ar para Sala de Computadores (CRAC) e sistemas Manipuladores de Ar para Sala de Computadores (CRAH) devem ser instalados ao longo da parede mais longa da sala, alinhados ao corredor quente (GENG, 2021). A distribuição de energia também deve ser pensada estrategicamente, com as PDUs fora da sala de TI e os painéis de energia remotos (RPPs) nas extremidades das filas de equipamentos (GENG, 2021).

Conforme Geng (2021), outros sistemas importantes incluem a proteção contra incêndios e *sprinklers*, que devem ser instalados no ponto mais alto, sem interferir nos demais sistemas. A iluminação também merece atenção: para salas com tetos altos, sistemas indiretos são recomendados, pois distribuem melhor a luz. Por fim, o design de contenção de corredores deve ser coordenado com os sistemas de incêndio e iluminação para garantir a segurança e eficiência do ambiente.

O design de salas de computação varia conforme o porte do centro de dados. Em grandes instalações, o uso de colunas ou suportes estruturais no teto é necessário, além da distribuição de quadros de rede. Em centros de médio porte, o objetivo é reduzir a quantidade desses elementos, facilitando o *layout* e a renovação tecnológica. Já em pequenos centros, a prioridade é evitar colunas, adotando soluções de alta densidade com rede centralizada (GENG, 2021).

Uma abordagem escalável no design de datacenter é fundamental para permitir futuras expansões sem comprometer os sistemas críticos. Isso inclui o planejamento para aumentar a capacidade de energia, resfriamento e rede ao longo do tempo, sem interromper as operações. No entanto, a escalabilidade deve ser equilibrada com a confiabilidade, uma vez que o uso de módulos menores pode reduzir a viabilidade devido ao maior número de componentes. É essencial também planejar adequadamente o espaço para futuras expansões, de modo a garantir que o aumento de capacidade não afete a redundância (GENG, 2021). Portanto, a solução final deve balancear escalabilidade e confiabilidade para otimizar o desempenho do datacenter.

O planejamento do espaço no datacenter envolve diversas áreas críticas para garantir a operação eficiente e segura. Além de considerar a circulação, com corredores amplos e portas adequadas para facilitar a troca de equipamentos, é necessário incluir áreas de suporte, como a sala de entrada para conversão de cabos, a sala de operações de rede para monitoramento 24/7, e espaços específicos para baterias, elétrica e mecânica. O *layout* também deve prever áreas para peças de reposição e segurança, com controle de acesso rigoroso e sistemas de vigilância, além de áreas de recepção e testes de equipamentos para garantir a integridade do sistema (GENG, 2021).

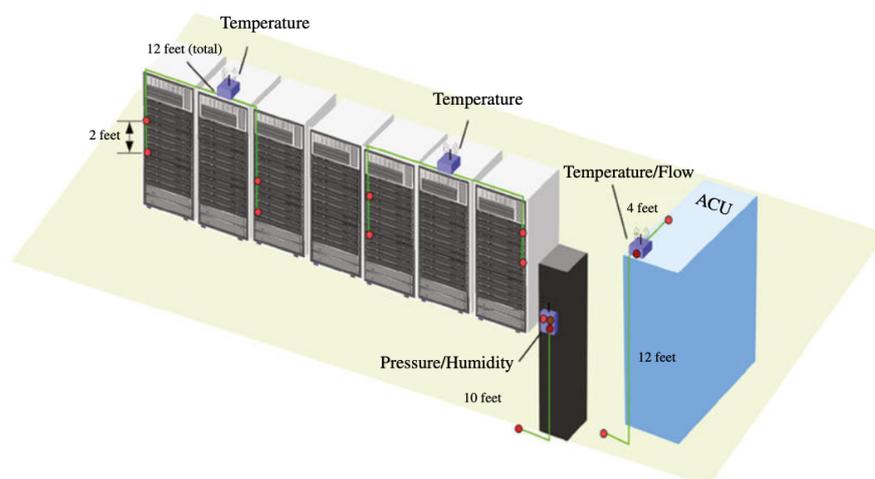
Além do mais, para projetar um datacenter ideal, é essencial determinar o tempo de operação necessário, o sistema elétrico a ser utilizado e a estratégia de backup. A criticidade dos processos de TI desempenha um papel central na decisão sobre o nível de redundância necessário. O sistema de energia precisa ser resiliente, considerando redundâncias para distúrbios na rede elétrica, interrupções longas e falhas nos equipamentos locais. Além disso, é fundamental entender a carga de TI, incluindo o consumo de energia dos servidores, requisitos de tensão e a possibilidade de subcarga (GENG, 2021).

2.3.2 Estratégias de monitoramento

Os ambientes de datacenter desempenham um papel crucial na manutenção da confiabilidade dos sistemas de computadores. Dessa forma, é fundamental utilizar sensores para monitorar as condições ambientais. Os sensores mais comuns usados são de temperatura, umidade relativa, fluxo de ar, pressão, acústica, fumaça, corrosão e qualidade do ar (GENG, 2021).

Para garantir monitoramento preciso e eficiente das condições ambientais, recomenda-se instalar os sensores de maneira estratégica, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Integração dos sensores em um datacenter



Fonte: (GENG, 2021)

Os sensores de temperatura são posicionados na frente dos servidores, onde o ar frio entra, e na parte traseira, para medir a temperatura do ar de exaustão, com o objetivo de avaliar a carga computacional dos equipamentos. Eles também podem ser distribuídos em diferentes alturas para analisar o resfriamento vertical em pisos elevados (GENG, 2021). Sensores de pressão, por sua vez, são instalados sob pisos elevados para medir os níveis de pressão, fornecendo informações sobre o fluxo de ar dos CRAC. Além disso, sensores de corrosão são montados em locais expostos para detectar contaminantes no ar, utilizando filmes finos de cobre ou prata que reagem a gases como o enxofre (GENG, 2021).

A quantidade e a precisão dos sensores instalados são influenciadas pela granularidade desejada das medições e pelas demandas dos modelos físicos ou estatísticos utilizados (GENG, 2021). Além disso, os sensores podem ser conectados a controladores e/ou microcontroladores, formando sistemas automáticos que ajustam operações.

Os sensores de corrosão fornecem leituras baseadas em mudanças de resistência, indicando taxas de corrosão em relação a valores históricos, calculados a partir de médias temporais para reduzir ruídos (GENG, 2021). A taxa de corrosão, influenciada por poluentes externos e condições internas, deve permanecer abaixo de valores aceitáveis. Restrições adicionais, como a temperatura do ar externo estar abaixo do ponto de resfriamento do DC e a umidade relativa ser inferior a 90%, são aplicadas para prevenir condensação, que pode levar à formação de água nos servidores (GENG, 2021).

Historicamente, muitos datacenters mantinham temperaturas de fornecimento de ar em torno de 55°F, mesmo sendo desnecessário, pois a maioria dos servidores opera de forma segura entre 50°F e 99°F (ENERGY STAR, 2020). Além disso, estratégias como aterramento de equipamentos minimizam os riscos de descarga eletrostática (ESD) associados à baixa umidade, enquanto estudos sugerem que a condensação causada por alta umidade é uma preocupação inabitual (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2015). Portanto, a elevação da temperatura do ar fornecido e a revisão dos padrões de umidade em datacenter podem reduzir significativamente o consumo de energia.

O gerenciamento eficiente do fluxo de ar em datacenter é essencial para otimizar o resfriamento dos equipamentos de TI, garantindo que o ar frio alcance os *racks* de forma eficaz, enquanto o ar quente seja direcionado de volta aos sistemas de refrigeração, evitando a mistura dos fluxos (GENG, 2021). Estratégias como *layouts* de corredores quentes e frios promovem a separação física dos fluxos de ar, enquanto o uso de cortinas flexíveis e o enclausuramento de equipamentos ajudam a direcionar o fluxo, reduzindo a necessidade de resfriamento adicional (ENERGY STAR, 2020). Além disso, a simulação de fluxo de ar identifica zonas problemáticas, como *hotspots*, permitindo ajustes no sistema para aumentar a eficiência energética (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2015).

Esse controle de fluxo é complementado pelo uso das unidades CRAC. Operando com atuadores, como chaminés passivas ou com ventiladores, que adicionam ventilação ativa para maior fluxo de ar, que podem funcionar em modos simples (ligado/desligado) ou variáveis (velocidade ajustável), as unidades CRAC são monitoradas em tempo real por sensores conectados a um servidor central (GENG, 2021). Esse sistema analisa dados para detectar subutilização ou falhas, possibilitando desligar unidades desnecessárias ou ativar outras em situações críticas, como a formação de *hotspots*. A integração entre o gerenciamento de fluxo de ar e o controle das unidades CRAC maximiza a eficiência operacional e reduz custos energéticos, conforme destacado por estudos recentes (GENG, 2021).

Além das estratégias tradicionais de contenção de ar, há soluções avançadas para demandas térmicas crescentes em equipamentos de alta densidade, como o resfriamento líquido, que utiliza fluidos para dissipar calor diretamente dos componentes, e o resfriamento por imersão, no qual servidores são submersos em fluidos dielétricos, eliminando ventiladores e proporcionando resfriamento altamente eficiente (GENG, 2021).

2.3.3 Normas da ABNT

A NBR ISO/IEC 22237-1:2023 é a principal norma que regula os requisitos para a construção, operação e gestão de datacenter, abrangendo desde critérios de infraestrutura física até aspectos de segurança física e sustentabilidade. Ela oferece um *framework* unificado para garantir que os datacenters atendam padrões de desempenho, confiabilidade e eficiência energética (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023).

Um dos elementos centrais da norma é a análise de risco, que orienta a definição do nível de disponibilidade necessário para o datacenter, ilustrada na Figura 3.

Figura 3 – Classe de Disponibilidade X Topologia

Infraestrutura da série NBR ISO/IEC 22237	Classe de Disponibilidade 1	Classe de Disponibilidade 2	Classe de Disponibilidade 3	Classe de Disponibilidade 4
Fornecimento de Energia (ver ABNT NBR/ ISO/IEC 22237-3)	Caminho único para o equipamento de distribuição primário — Fonte única	Caminho único para o equipamento de distribuição primário — Fontes redundantes	Caminho múltiplos para o equipamento de distribuição primário — Fontes redundantes	Caminho múltiplos para o equipamento de distribuição primário — Fontes múltiplas
Distribuição de Energia (ver ABNT NBR/ ISO/IEC 22237-3)	Caminho único	Caminho único com redundância	Caminhos múltiplos — Solução de manutenção /operação concorrente	Caminhos múltiplos — Tolerante a falhas exceto durante a manutenção
Controle ambiental (ver ABNT NBR ISO/IEC 22237-4)	Caminho único	Caminho único com redundância	Caminhos múltiplos — Solução de manutenção /operação concorrente	Caminhos múltiplos — Tolerante a falhas exceto durante a manutenção
Cabeamento de Telecomunicações (ver ABNT NBR/ ISO/IEC 22237-5)	Caminho único — conexões diretas ou infraestrutura fixa com conexão de rede de acesso único	Caminho único — infraestrutura fixa com conexões de rede de acesso múltiplas	Caminhos múltiplos — infraestrutura fixa com diversos caminhos com conexões de rede de acesso múltiplas	Caminhos múltiplos — infraestrutura fixa com diversos caminhos e zona de distribuição redundante e conexões de rede de acesso múltiplas

NOTA 1 Requisitos e recomendações para a construção de data center que provem o **Classe de Proteção** designada para permitir a disponibilidade das instalações e infraestruturas são abordadas na **NBR/ISO/IEC 22237-2**.

NOTA 2 Requisitos e recomendações para **segurança física** dos espaços do data center para permitir a disponibilidade das instalações e infraestruturas são abordadas na **NBR/ISO/IEC 22237-6**.

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2023)

Esse processo considera fatores críticos, como o impacto potencial no negócio e os custos associados a falhas. A partir dessa avaliação, a norma estabelece quatro classes de disponibilidade, que refletem diferentes níveis de complexidade e resiliência, desde soluções mais simples até sistemas altamente redundantes e tolerantes a falhas.

Sobre a segurança física, enfatiza a proteção contra acessos não autorizados, intrusões e eventos ambientais internos e externos. A eficiência energética é outro ponto-chave, com níveis de granularidade para monitoramento de consumo, permitindo a análise detalhada de recursos. A norma reforça a importância de processos operacionais bem definidos, incluindo a utilização de Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) para monitorar e gerenciar recursos e energia.

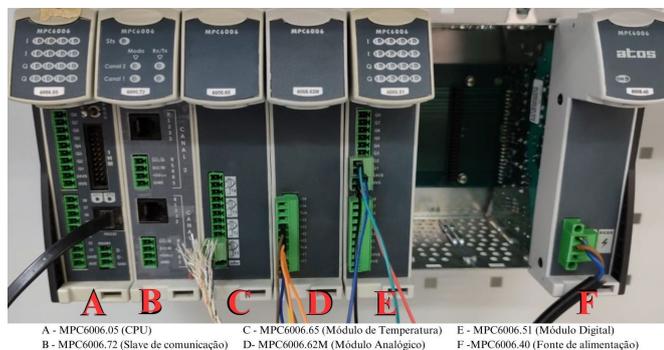
Por fim, o projeto de datacenter deve considerar a disponibilidade, confiabilidade e a resiliência. A implementação deve incluir estruturas organizacionais eficazes, com profissionais capacitados e contratos de manutenção. A resiliência é central e pode ser aprimorada por meio de otimizações estruturais e monitoramento contínuo com base em KPIs específicos.

3 Metodologia

Visando garantir a precisão na coleta de dados, a confiabilidade do processamento e comunicação direta em campo, a metodologia para o desenvolvimento deste sistema foi estruturada em três etapas principais. O processo iniciou-se com a configuração e integração dos sensores, em seguida, foi implementado o sistema de monitoramento no CLP, por fim, a configuração da comunicação local foi realizada para permitir que o CLP, em tempo real, indique visualmente ao usuário o funcionamento do sistema. Essa abordagem estruturada assegurou que cada etapa fosse desenvolvida com precisão e conformidade com os objetivos do sistema.

Após a instalação e configuração dos equipamentos, a metodologia previu uma etapa de testes e validação, quando foram realizados testes de campo para verificar a precisão dos dados coletados e a estabilidade da comunicação entre os dispositivos. Foram conduzidos testes em diferentes condições ambientais para garantir que o sistema reagisse corretamente a alterações nos parâmetros monitorados, gerando alertas quando os limites definidos fossem excedidos.

Figura 4 – CLP Atos 6006.28R



Fonte: Autor

Além disso, foi escolhido o CLP MPC6006 da série A1, da Atos, com a CPU MPC6006.05, [Figura 4](#), pelas suas características que atenderam ao perfil do projeto e porque estava disponível para uso no Laboratório de Inteligência Artificial, Eletrônica de Potência e Sistemas Digitais (BATLAB), dessa forma reduzindo os custos de compra de material. Esse CLP oferece uma estrutura robusta com 8 entradas digitais tipo “N” e saídas PWM de até 20 kHz, além de comunicação serial, características essenciais para o projeto. O processador de 400 MHz e a memória de 256 Kbytes RAM garantem o desempenho necessário para processar as informações dos sensores em tempo real, com tempos de varredura de 0,4 ms por ciclo. A compatibilidade com o software Atos A1 também foi um fator decisivo, facilitando a programação, simulação e manutenção do

sistema.

3.1 Configuração e Integração dos Sensores e Atuadores

O primeiro passo foi a análise dos requisitos específicos do ambiente de servidores, que demandava monitoramento constante de variáveis críticas como temperatura, pressão, presença de fumaça e ruído. Após essa análise, iniciou-se a seleção dos equipamentos mais adequados, [Tabela 2](#), para compor a solução, priorizando sensores de alta precisão e baixo consumo energético, bem como um CLP capaz de gerenciar a comunicação e o processamento dos dados de forma centralizada.

Tabela 2 – Características dos Sensores Ambientais

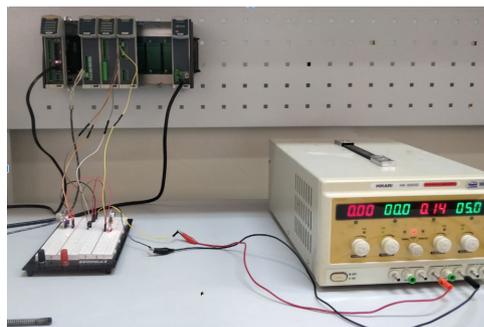
Tipo de Sensor	Modelo	Preço
Temperatura	Termopar 6006.65	R\$ 0,00
Pressão	MPX5700GP	R\$ 25,00
Acústica	®Waveshare sound sensor	R\$ 35,54
Fumaça	MQ-2	R\$ 14,43

Fonte: Autor

No sistema, a integração com os sensores é feita por meio do módulo analógico 6006.62M. Este módulo é responsável por converter os sinais analógicos provenientes dos sensores em valores digitais compreensíveis pelo CLP. O módulo suporta entradas analógicas tanto em tensão quanto em corrente, com características adaptadas para diferentes aplicações. Para sinais de tensão, ele opera em um intervalo de 0 a +10 VDC, com uma alta impedância de entrada superior a 150 k Ω , resolução de 12 bits (2,5 mV).

Para assegurar uma alimentação estável, foi utilizada uma fonte de bancada regulada do BATLAB, [Figura 5](#), ajustada para fornecer 5V aos sensores, garantindo a tensão necessária para operação consistente e precisa. Adicionalmente, uma tomada de 220V foi dedicada para alimentar os atuadores, proporcionando a energia necessária para seu funcionamento adequado.

Figura 5 – Fonte de bancada



Fonte: Autor

3.1.1 Conexão com o Termopar

O módulo de termopar 6006.65 foi escolhido, principalmente, por já estar disponível no laboratório, o que gerou economia de recursos ao evitar a necessidade de aquisição de um novo sensor. Além disso, o software da ATOS já possui as configurações necessárias para trabalhar com esse componente.

A placa de expansão desse módulo de temperatura possui 4 canais e é compatível com diversos tipos de termopares, o tipo escolhido foi o "J", [Figura 6](#) o qual mede temperaturas de $-200,0$ a $750,0$. O módulo possui uma impedância de entrada maior que $30\text{ k}\Omega$, a linearização é realizada via software, com uma resolução $0,1\text{ }^\circ\text{C}$, exatidão de $\pm 0,25\%$, *drift* de temperatura de $0,030\text{ }^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$, tempo de resposta $1,6\text{ s}$ e fonte de alimentação através do barramento (interno).

Figura 6 – Termopar tipo J escolhido



Fonte: Autor

Para evitar interferências, o fabricante recomenda instalar os módulos de temperatura no lado oposto à fonte de alimentação e utilizar cabos com impedância $\leq 100\Omega$.

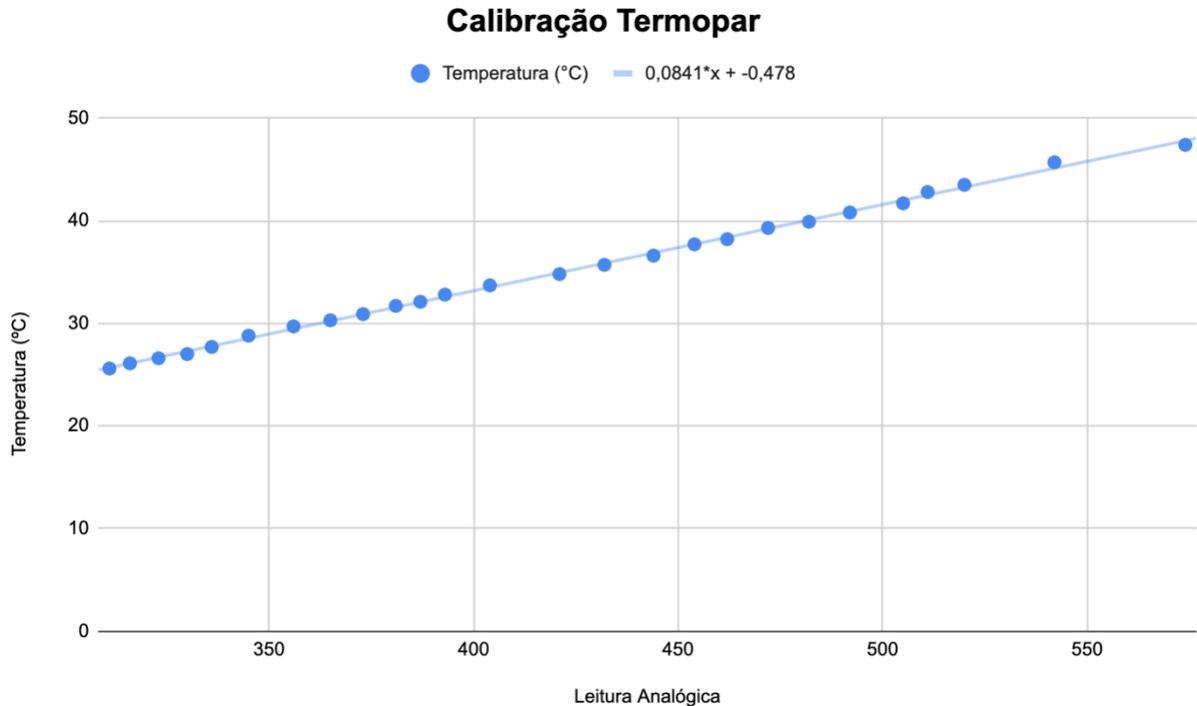
Posteriormente, realizou-se a calibração do termopar com o auxílio de uma câmera termométrica e de um aquecedor. Os valores lidos pelo módulo de temperatura do CLP e os valores correspondentes de temperatura medidos pelo termômetro foram registrados. As medições foram efetuadas em partes de acordo com a variação de temperatura gerada pelo aquecedor. Registraram-se os dados amostrados, de acordo com a [Tabela 3](#).

Tabela 3 – Leitura e temperatura do termopar

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	25.6	26.1	26.6	27.0	27.7	28.8	29.7	30.3	30.9	31.7
Leitura Analógica	311	316	323	330	336	345	356	365	373	381
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	32.1	32.8	33.7	34.8	35.7	36.6	37.7	38.2	39.3	39.9
Leitura Analógica	387	393	404	421	432	444	454	462	472	482
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	40.8	41.7	42.8	43.5	45.7	47.4				
Leitura Analógica	492	505	511	520	542	574				

A partir dos dados obtidos, levantou-se a seguinte curva característica, juntamente com o método de regressão linear, [Figura 7](#).

Figura 7 – Curva Leitura de temperatura no módulo vs temperatura do termômetro



Fonte: Autor

A equação (3.1) corresponde à regressão linear referente aos dados da [Figura 7](#). Vale notar que os valores de saída são obtidos em °C e os valores de entrada (x) correspondem às leituras analógicas obtidas pelo sensor:

$$T(^{\circ}\text{C}) = 0,0841x - 0,478 \quad (3.1)$$

Para verificar a linearidade do sistema, efetuou-se o cálculo do Erro Quadrático Médio (EQM) resultou em 0,221, enquanto o coeficiente de determinação (R^2), em 0,999. Assim, conclui-se que a regressão proposta é válida e representa os dados adequadamente.

3.1.2 Conexão com o sensor de pressão

O sensor de pressão MPX5700GP é um transdutor piezoresistivo de silício altamente integrado. Este sensor combina diversas tecnologias avançadas, como técnicas de microusinagem, metalização de filme fino e processamento bipolar. Em conjunto, esses recursos proporcionam uma saída analógica, proporcional à pressão aplicada, que é calibrada e compensada em função da temperatura.

Uma das principais características do MPX5700GP é a sua margem de erro, que não ultrapassa 2,5% em temperaturas que variam de 0°C a 85°C. O design, que utiliza

um medidor de esforço de cisalhamento, contribui para a robustez e a durabilidade do sensor, protegendo-o contra danos em ambientes desafiadores.

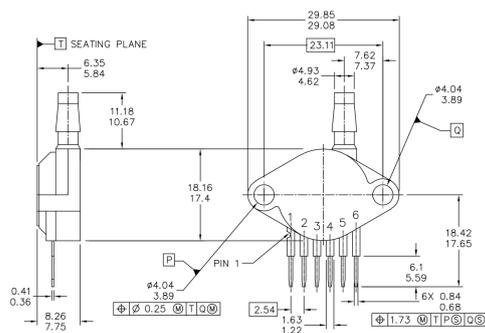
As especificações operacionais do sensor incluem uma faixa de pressão que varia de 0 a 700 kPa, com tensão de alimentação nominal de 5 V e saída em escala completa entre 4,587 V e 4,813 V. Além disso, sua resposta rápida de 1 ms e sua sensibilidade de 6,4 mV/kPa garantem que o sensor possa captar e responder a variações de pressão com precisão e velocidade.

Ao optar por um sensor de pressão absoluta, é possível obter uma leitura direta da pressão em relação ao ambiente, sem a necessidade de comparar duas pressões diferentes, como ocorre com os sensores de pressão diferencial. Isso simplifica a medição, pois não requer a instalação de um segundo ponto de referência de pressão, o que seria necessário para o uso de sensores diferenciais. Além disso, sensores de pressão absoluta são mais adequados para detectar fluxos de ar em ambientes onde as variações de pressão são pequenas, como o ambiente de um servidor, onde mudanças na pressão podem ocorrer devido ao funcionamento das unidades CRAC, sem que haja uma diferença significativa de pressão entre dois pontos.

Por outro lado, sensores de pressão diferencial são mais adequados para medições em sistemas onde a diferença de pressão entre dois pontos específicos precisa ser monitorada, como em sistemas de ventilação forçada ou medição de vazamentos. No entanto, como o objetivo é monitorar o fluxo de ar em relação à pressão ambiente, o sensor de pressão absoluta oferece uma solução mais prática e eficiente, capturando as variações de pressão de maneira direta e clara. Por esses motivos, o sensor MPX5700GP foi escolhido.

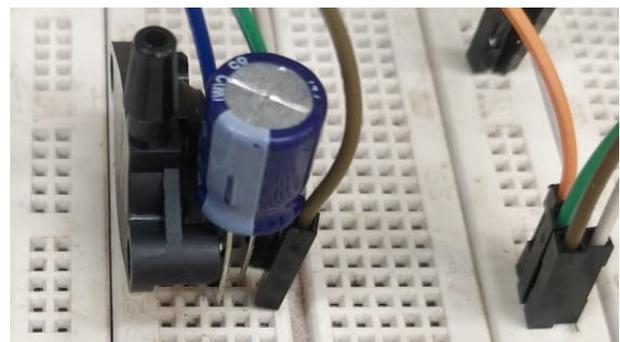
Na conexão elétrica do sensor MPX5700GP há 3 pinos utilizados, VCC, GND e saída analógica, [Figura 9](#). O pino VCC foi conectado à alimentação de 5V, enquanto o pino GND foi ligado à terra do sistema. A saída analógica foi conectada ao microcontrolador para que fosse possível realizar a leitura da pressão. Os outros pinos presentes no sensor, [Figura 8](#), são obsoletos e, portanto, não foram utilizados nesta configuração.

Figura 8 – Pinagem do MPX5700GP



Fonte: [Freescale Semiconductor Inc. \(2012\)](#)

Figura 9 – MPX5700GP conectado na protoboard

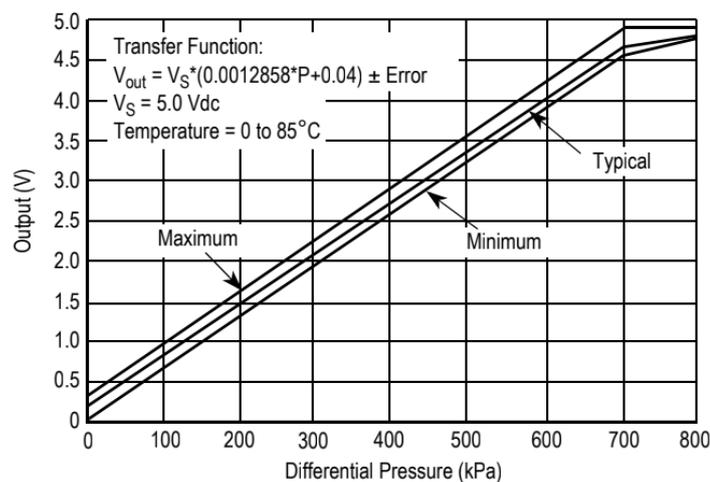


Fonte: Autor

Para melhorar a precisão e estabilidade da leitura da saída analógica, acrescentou-se um capacitor de 470 μ F de filtro na saída conforme recomendado pelo fabricante do sensor. Esse filtro ajuda a suavizar possíveis flutuações no sinal, garantindo que os dados capturados reflitam com maior fidelidade as variações de pressão no ambiente, minimizando ruídos que poderiam interferir nas medições.

Para realizar a leitura do sensor, foi observado o sinal de saída do sensor em relação à pressão aplicada. A partir da [Figura 10](#), é possível identificar as curvas típicas, mínima e máxima da saída do sensor, considerando o funcionamento dentro da faixa de temperatura de 0°C a 85°C, utilizando o circuito de desacoplamento recomendado.

Figura 10 – Output vs. Pressão Diferencial



Fonte: [Freescall Semiconductor Inc. \(2012\)](#)

De acordo com o gráfico, a saída do sensor é proporcional à pressão, mas é importante ressaltar que, fora da faixa de pressão especificada, o sinal de saída pode saturar, o que implica que a leitura não será mais precisa ou representativa da pressão real. A saturação ocorre quando a pressão aplicada ultrapassa os limites definidos pelo fabricante, sendo um fator a ser considerado durante o monitoramento.

A equação (3.2) corresponde à regressão linear referente aos dados da [Figura 10](#). Vale notar que os valores de saída são obtidos em quilo Pascal e os valores de entrada (V_s) correspondem às leituras analógicas obtidas pelo sensor.

$$V_{out} = V_s(0.0012858P) + 0.04 \pm \text{Error} \quad (3.2)$$

3.1.3 Conexão com o sensor de áudio

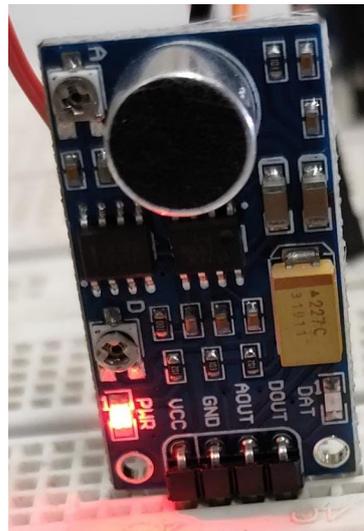
O sensor de áudio da [®Waveshare](#) é um módulo projetado para captar e monitorar níveis de som em ambientes variados, sendo ideal para aplicações que requerem a detecção de ruídos. Ele utiliza um microfone sensível que converte ondas sonoras em sinais elétricos,

a saída analógica varia de acordo com o nível de decibéis (dB) detectado no ambiente. A escolha do sensor de áudio da @Waveshare se deu por sua simplicidade de uso e precisão, além de oferecer uma interface de saída que facilita a conexão a sistemas de automação.

O sensor utiliza dois circuitos integrados principais, o LM386 e o LM393, para detectar e amplificar sinais sonoros, oferecendo saídas analógica e digital. O LM386 funciona como um amplificador de áudio, aumentando o sinal recebido pelo microfone do sensor. Já o LM393, configurado como comparador de tensão, é combinado com um potenciômetro que permite ajustar a sensibilidade da detecção. Quando o nível sonoro ultrapassa o limiar ajustado no potenciômetro, o LM393 gera uma saída digital, indicando que o volume superou o limite configurado.

A instalação do sensor, [Figura 11](#), é relativamente direta: ele é alimentado por uma tensão de 3.3V a 5V e possui uma saída analógica que representa o nível de áudio detectado em tempo real. Conectar essa saída a um módulo analógico do CLP permite monitorar e registrar os níveis de som, possibilitando uma resposta automatizada em caso de níveis críticos de ruído.

Figura 11 – Conexão do sensor de áudio na protoboard



Fonte: Autor

3.1.4 Conexão com o sensor de fumaça

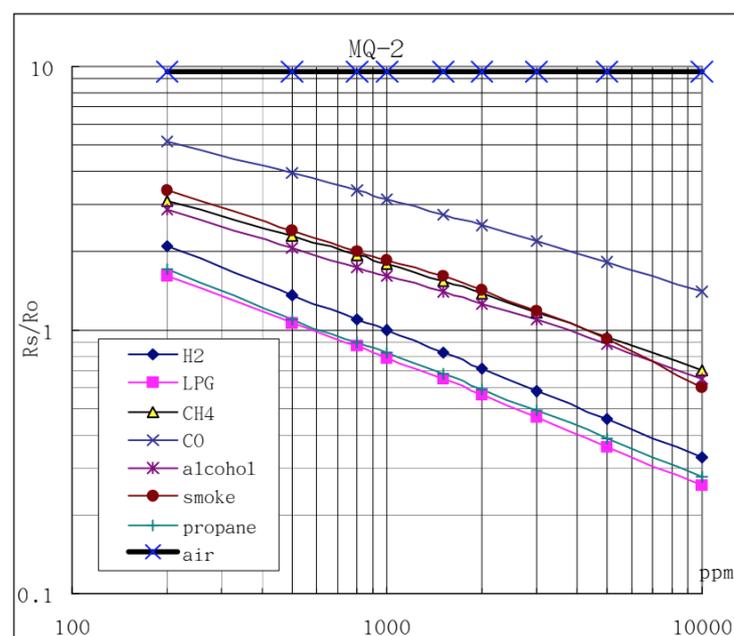
O sensor de gás MQ-2 possui a capacidade de detectar uma ampla gama de gases combustíveis e fumaça, incluindo GLP, i-butano, propano, metano, hidrogênio e álcool. Além disso, o MQ-2 oferece alta sensibilidade e resposta rápida, fatores essenciais para o monitoramento em tempo real em ambientes de data centers e salas de servidores, onde a presença de fumaça pode indicar um potencial risco de incêndio.

O funcionamento do MQ-2 baseia-se na variação de resistência da sua camada sensível, composta por dióxido de estanho (SnO_2). Quando exposta a gases combustíveis, essa camada sofre uma redução em sua resistência elétrica, variando conforme o tipo e a concentração do gás presente no ambiente. Essa variação de resistência gera um sinal analógico que pode ser lido e processado para fornecer informações sobre a concentração de gases no local. O circuito de medição típico inclui um resistor de carga ajustável, que permite calibrar o sensor para uma sensibilidade adequada ao tipo de gás monitorado.

A escolha do MQ-2 para o projeto deve-se à sua compatibilidade com circuitos simples e à facilidade de integração com CLPs, permitindo a leitura direta da concentração de gases em forma de sinal analógico. A flexibilidade do MQ-2 em detectar múltiplos gases com um único sensor reduz a necessidade de componentes adicionais, otimizando o projeto tanto em termos de custo quanto de espaço físico. Além disso, o fabricante fornece diretrizes para calibrar o sensor em concentrações de gases específicas, o que permite ajustar o nível de sensibilidade e adequá-lo para condições de temperatura e umidade, conferindo mais precisão à detecção.

Para montar o sensor de fumaça MQ-2 com o CLP, é importante entender suas características e funcionamento. O MQ-2 é um sensor que apresenta uma resposta à presença de gases inflamáveis e fumaça, com leve variação de leitura em função da temperatura. Ele possui uma configuração de estrutura simples, incluindo um circuito básico de medição que varia sua resistência interna de acordo com a concentração de gás detectada, [Figura 12](#). E, o sensor é equipado com um potenciômetro ajustável que permite calibrar a sensibilidade, facilitando a adaptação às condições específicas do ambiente.

Figura 12 – Curva de sensibilidade do sensor MQ-2



Fonte: [Hanwei Electronics Co., Ltd. \(2024\)](#)

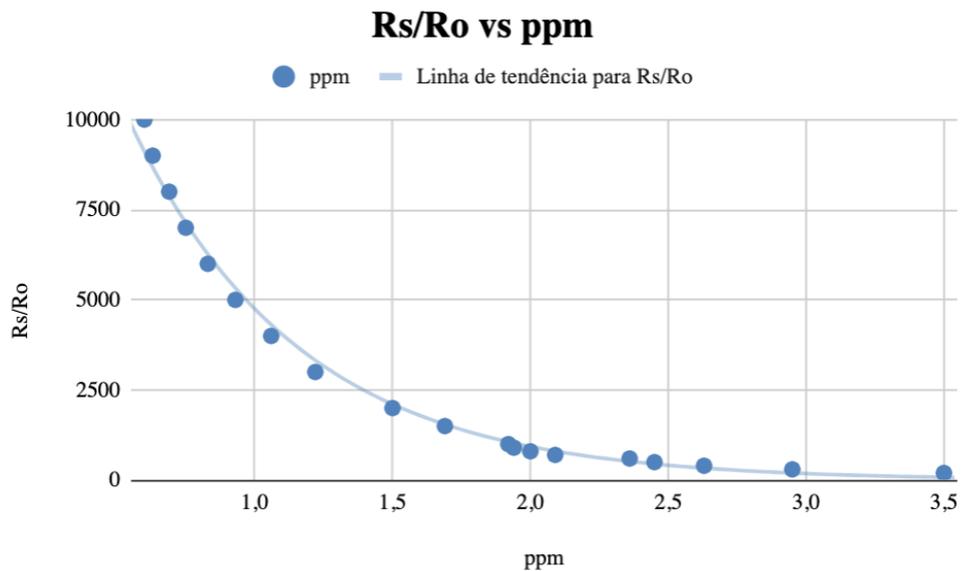
Para interpretar a leitura de fumaça, os dados são comumente expressos como uma relação entre R_s (resistência do sensor ao detectar gás) e R_o (resistência base do sensor em ar limpo). A Tabela 4 foi criada com valores de $\frac{R_s}{R_o}$ para concentrações específicas de fumaça em partes por milhão (ppm) ilustradas da Figura 12:

Tabela 4 – Tabela de PPM e valores de R_s/R_o para o sensor MQ-2

R_s/R_o	3.5	2.95	2.63	2.45	2.36	2.09	2.00	1.94	1.92	1.69	1.5
PPM	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1500	2000
R_s/R_o	1.22	1.06	0.93	0.83	0.75	0.69	0.63	0.6			
PPM	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000			

A partir dos dados obtidos, levantou-se a seguinte curva característica, juntamente com o método de regressão linear, Figura 13.

Figura 13 – Curva de sensibilidade de fumaça



Fonte: Autor

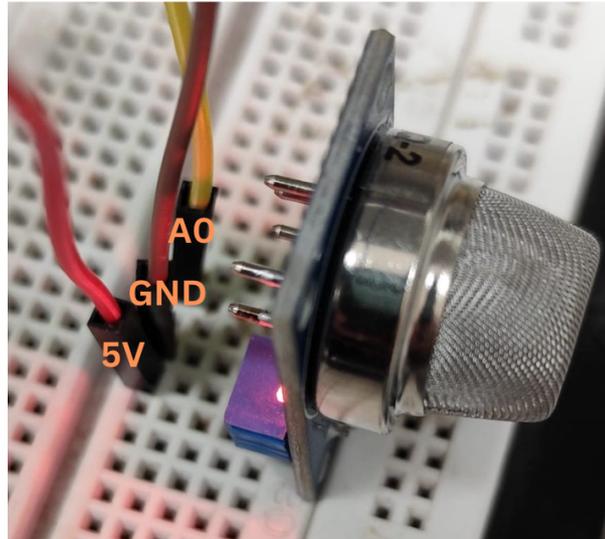
A equação (3.3) corresponde à regressão linear referente aos dados da Tabela 4. Vale notar que os valores de saída são obtidos em ppm e os valores de entrada (R_s) correspondem às leituras analógicas obtidas pelo sensor.

$$PPM = 28496,84 \cdot e^{-1,83 \cdot (\frac{R_s}{R_o})} \tag{3.3}$$

Essa equação é útil para estimar o valor de ppm a partir de novos valores de R_s/R_o , sendo uma representação precisa da concentração de gás baseada nas características do sensor. O cálculo do EQM resultou em 189,1543, enquanto o (R^2), em 0,993. Assim, pode-se concluir que a regressão proposta é válida e representa os dados de forma adequada.

A ligação do sensor MQ-2 na matriz de contato, [Figura 14](#), foi realizada utilizando três conexões principais. O pino VCC do sensor foi ligado a uma linha de 5V, enquanto o pino GND foi conectado à linha de terra (GND). Para a saída analógica, o pino correspondente do sensor foi ligado ao ponto de entrada do módulo analógico do CLP para leitura dos sinais de gás.

Figura 14 – MQ2 conectado na protoboard



Fonte: Autor

3.1.5 Atuadores

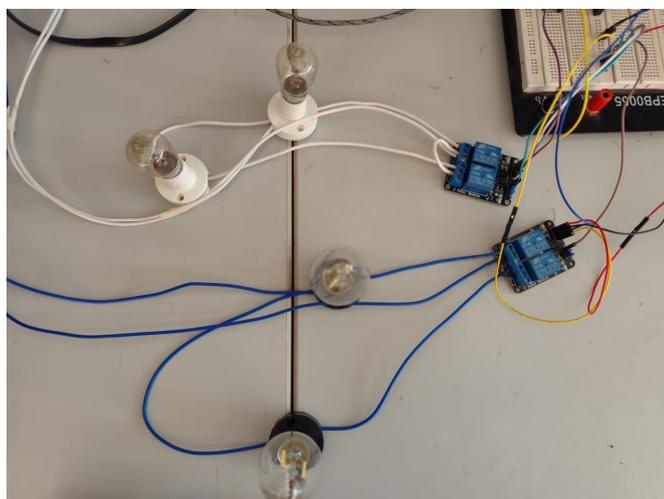
Esta subseção aborda os detalhes da integração dos atuadores no sistema de controle, destacando o processo de configuração dos relés e a implementação de sua funcionalidade, bem como a integração de um inversor para o controle de um motor que está emulando um sistema de exaustão de pequeno porte.

Os três relés usados são do modelo SRD-05VDC-SL-C e recebem sinais digitais emitidos pelo módulo de saída 6006.51 do CLP. Este módulo opera com 8 entradas e 8 saídas do tipo N, o que significa que, ao realizar a comutação, ele fornece potencial de 0 VDC para as cargas. Dessa forma, o terminal comum das cargas precisa estar conectado ao potencial positivo da fonte de alimentação, que, tipicamente, seria de +24 VDC em configurações industriais.

Entretanto, optou-se pelo uso de uma fonte de bancada ajustada para fornecer 5 VDC, de modo a alimentar tanto o módulo de saída quanto os relés. Essa alteração se deve à adequação do sistema para as condições específicas de teste em bancada. Assim, os relés recebem os sinais digitais emitidos pelo módulo e ambos compartilham um terminal comum.

Dois desses relés, [Figura 15](#), têm a função de acionar lâmpadas de comunicação local quando os valores das variáveis temperatura, pressão, decibel e fumaça atingem limites críticos.

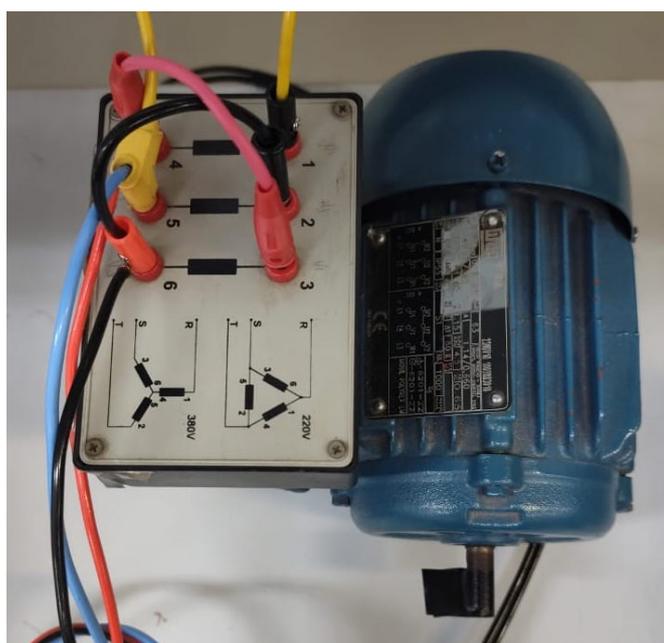
Figura 15 – Lâmpadas conectadas aos relés



Fonte: Autor

O motor utilizado na prática de bancada, [Figura 16](#), tem uma potência nominal de 0,18 kW e opera em tensões trifásicas de 220/380 V, com correntes de 1,14 A e 0,66 A, respectivamente, dependendo da configuração de ligação. A frequência nominal do motor é de 60 Hz, e seu fator de serviço é de 1,15. Para a alimentação, o motor está configurado em ligação em triângulo, recebendo uma tensão trifásica de 220 V.

Figura 16 – Motor de teste



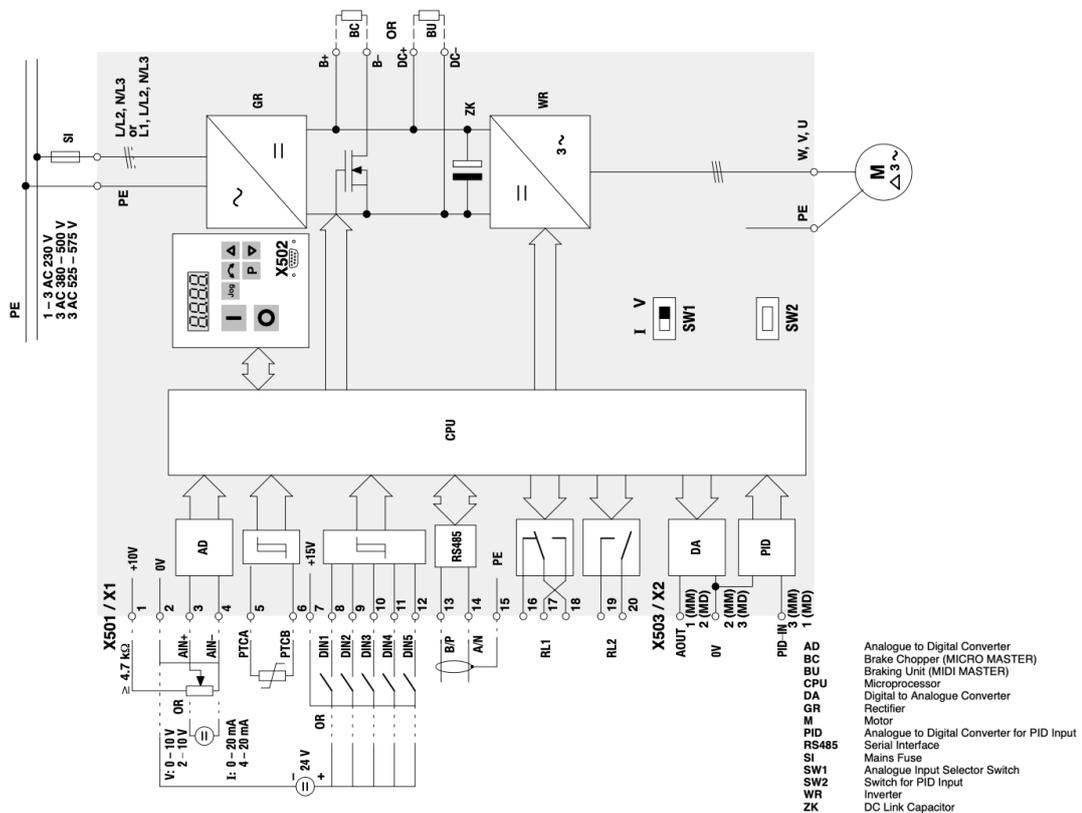
Fonte: Autor

Em servidores de pequeno porte, as tensões são monofásicas, de 127V, ou bifásicas, de 220V. Por isso, é necessária a implementação um inversor para dispor de tensão trifásica de saída para bombas, de incêndio ou exaustores de melhor desempenho, a partir de uma alimentação de 127V ou 220V.

O inversor do modelo Siemens-Simovert MicroMaster (6SE3011-5BA00) possui diversas funcionalidades, entre elas a memória não volátil para armazenamento de parâmetros, o controle de frequência configurável via sinais digitais ou analógicos, frenagem por injeção de corrente contínua e um gerador de rampas para tempos ajustáveis de aceleração e desaceleração.

O MicroMaster opera com uma entrada monofásica de 230 V ± 15%, com corrente máxima de 3 A e frequência de 47 a 60 Hz. A saída varia de 0 até a tensão de entrada, suportando uma corrente de até 1,5 A e frequência ajustável entre 0 e 650 Hz, sendo ideal para motores de até 250 W. Além disso, incorpora proteção contra sobrecargas, sobretensão, subtensão e superaquecimento, além de filtros RFI para reduzir interferências eletromagnéticas. Projetado para operação em temperaturas entre 0 e 40 °C, o dispositivo atende aos padrões de proteção IEC 536/VDE 016 (Classe 1) e IEC 529 (IP21/NEMA 250 Tipo 1), demonstrando ser uma solução versátil para aplicações industriais e laboratoriais. O diagrama de bloco do inversor está ilustrado na [Figura 17](#).

Figura 17 – Diagrama de blocos do inversor MICRO MASTER



Fonte: (SIEMENS, 1996)

A conexão do motor de teste ao inversor, [Figura 18](#), foi planejada com base nas especificações e requisitos do modelo 6SE3011-5BA00. O acionamento do motor é controlado digitalmente, utilizando um relé como intermediário entre o módulo digital do CLP e o inversor. Quando o módulo digital envia um sinal para o relé, este fecha o circuito entre os terminais 7 e 8 do inversor.

Figura 18 – Conexão do motor com o inversor



Fonte: Autor

Internamente, o circuito do inversor possui um mecanismo que funciona de forma semelhante a um relé, que monitora e gerencia a ativação de funções do equipamento. No entanto, este mecanismo interno não pode ser acionado diretamente pelos sinais digitais de saída do módulo CLP, pois estes sinais possuem limitações de corrente e tensão. O relé externo atua como um intermediário, adaptando o sinal recebido para ativar o circuito interno do inversor de maneira segura.

A outra forma de acionamento é pelo controle analógico. Pode ser ao conectar um potenciômetro de $4,7K\Omega$ nos terminais de controle, ou conectar um sinal de 0 a 10V do pino 2 e pino 4 (0V) para o pino 3. Dessa forma, há uma possibilidade de interação entre o inversor e o CLP para controle da velocidade do exaustor ou da bomba de extinção de incêndio.

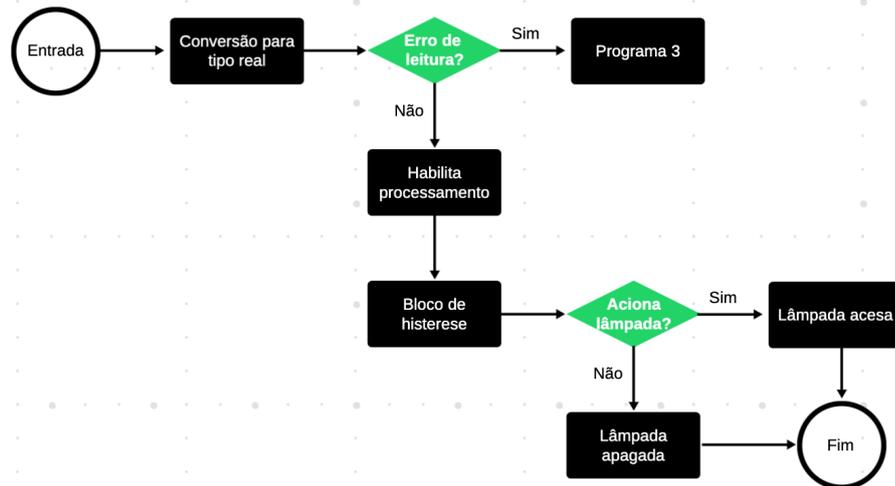
3.2 Implementação do Sistema no CLP

Neste tópico, será abordada a programação do sistema de controle e monitoramento implementado no CLP, com foco na integração e configuração dos sensores para

leitura de dados em tempo real e na interface de comunicação local. A implementação foi feita em três programas preemptivos cíclicos.

Cabe ao Programa 1 a leitura dos sensores de temperatura, pressão e áudio. A lógica de programação da leitura do termopar e do MPX5700 está descrita na [Figura 19](#).

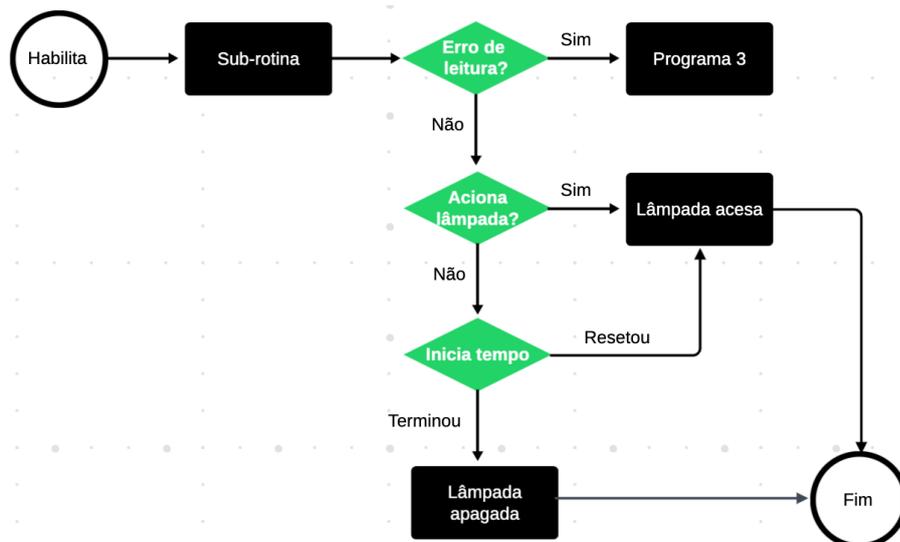
Figura 19 – Fluxograma da leitura de temperatura e pressão



Fonte: Autor

A lógica do processamento do sinal áudio é dividida em duas partes. Primeiro passa por uma subrotina que executa uma tarefa específica, a escolha de fazer desse modo se deve por facilitar a manutenção e leitura do Programa 1. Após a subrotina, no programa principal termina a execução, conforme demonstrado na [Figura 20](#).

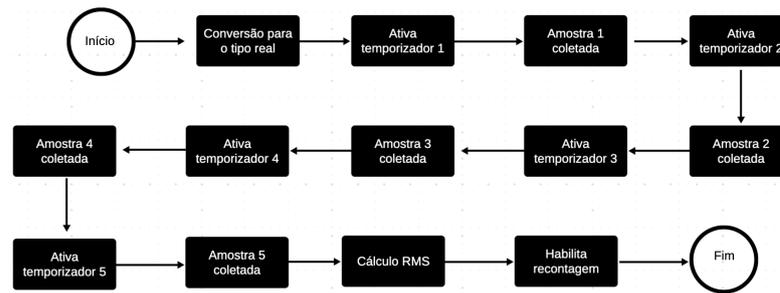
Figura 20 – Fluxograma geral da leitura de áudio



Fonte: Autor

A lógica dentro da subrotina é descrita pela [Figura 21](#).

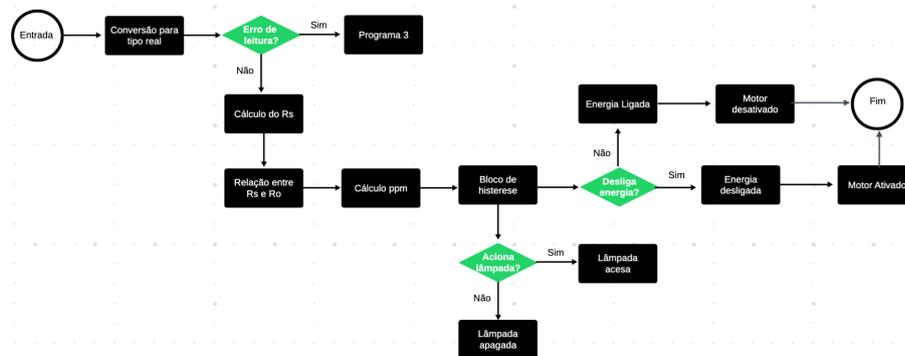
Figura 21 – Fluxograma da subrotina do sensor de áudio



Fonte: Autor

Cabe ao Programa 2 a detecção de fumaça e acionamento do motor de exatidão, conforme indicado na [Figura 22](#).

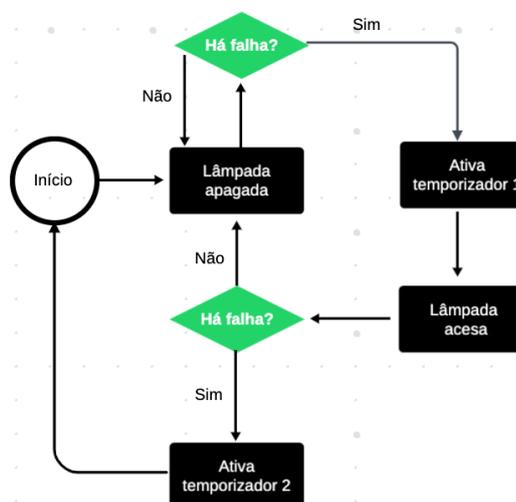
Figura 22 – Fluxograma do Programa 2



Fonte: Autor

E cabe ao Programa 3 a detecção de falhas na leitura dos sensores, ilustrado na [Figura 23](#).

Figura 23 – Fluxograma do Programa 3

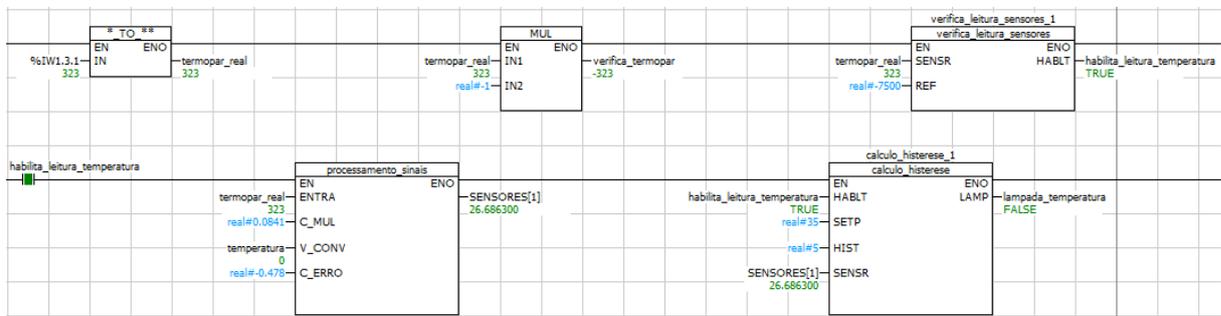


Fonte: Autor

3.2.1 Programa 1

A programação do sensor de temperatura, [Figura 24](#), no sistema de monitoramento do CLP segue etapas bem definidas para garantir precisão e funcionalidade. Inicialmente, a variável de entrada correspondente ao termopar, capturada pelo módulo analógico, é convertida de inteiro para real, facilitando cálculos e interpretações posteriores. Em seguida, utiliza-se o bloco *verifica_leitura_sensores* para confirmar que o sensor está realizando leituras corretamente. Caso a leitura seja validada, o próximo passo é aplicar a correlação entre o valor analógico lido e a temperatura correspondente, conforme definido pela função *processamento_sinais*, que utiliza a equação (3.1) para calcular os valores de temperatura com base nos sinais recebidos.

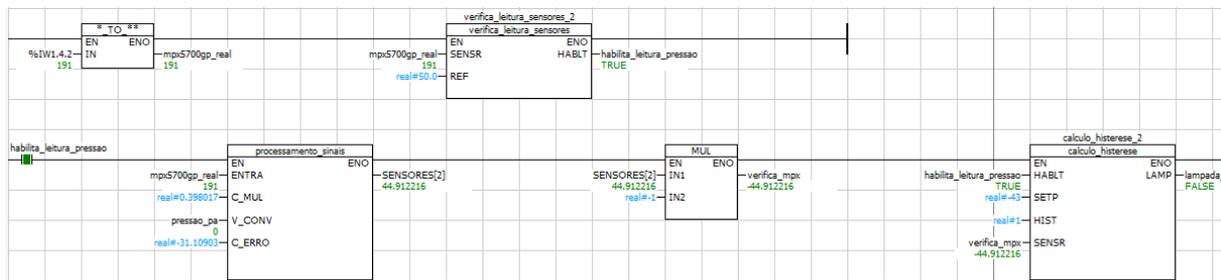
Figura 24 – Programação da leitura do termopar



Fonte: Autor

Após a conversão e processamento do sinal, realiza-se um cálculo de histerese, por meio do bloco *calculo_histerese*, para acender a lâmpada quando o valor de *setpoint* for atingido, e desligar caso contrário.

Figura 25 – Programação da leitura do MPX5700GP



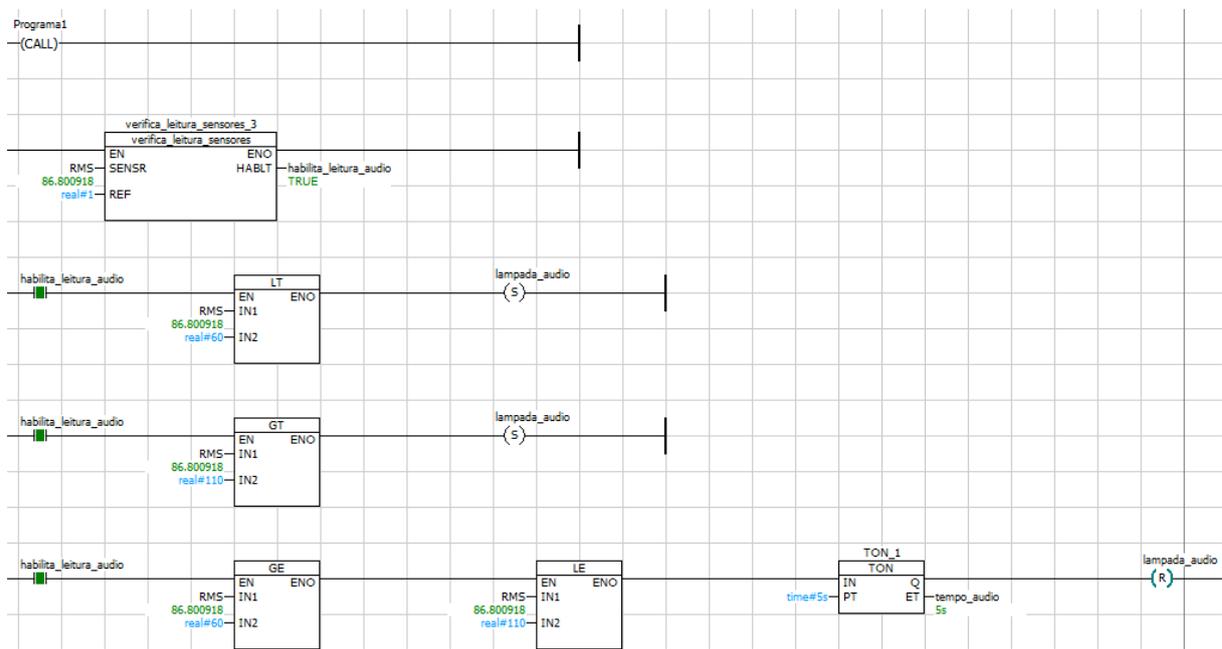
Fonte: Autor

A programação do sensor de pressão, [Figura 25](#), segue os mesmos passos estabelecidos para o termopar. Este sensor é implementado no mesmo programa que o termopar, situado logo abaixo na estrutura de blocos lógicos. Assim, como no caso anterior, a variável de entrada é convertida de inteiro para real, permitindo um processamento adequado dos dados. O bloco *verifica_leitura_sensores* também é utilizado para validar a leitura do sensor, assegurando que ele está funcionando corretamente. No processo de correlação

entre o valor analógico lido e a pressão correspondente, o bloco *processamento_sinais* utiliza a equação (3.2). O bloco de histerese aciona a lâmpada caso detecte uma variação negativa de pressão, ou seja, quando a pressão no ponto medido pelo sensor é menor do que a pressão de referência, indicando fluxo de ar na direção do sensor.

Após as linhas da leitura de pressão, a programação do sensor de áudio foi organizada em uma sub-rotina dedicada, com o objetivo de manter o programa principal de leitura de sensores mais legível e objetivo. O programa principal, Figura 26, realiza um *call* para essa sub-rotina, onde ocorre o processamento específico do sensor de áudio.

Figura 26 – Programação da leitura do sensor de áudio



Fonte: Autor

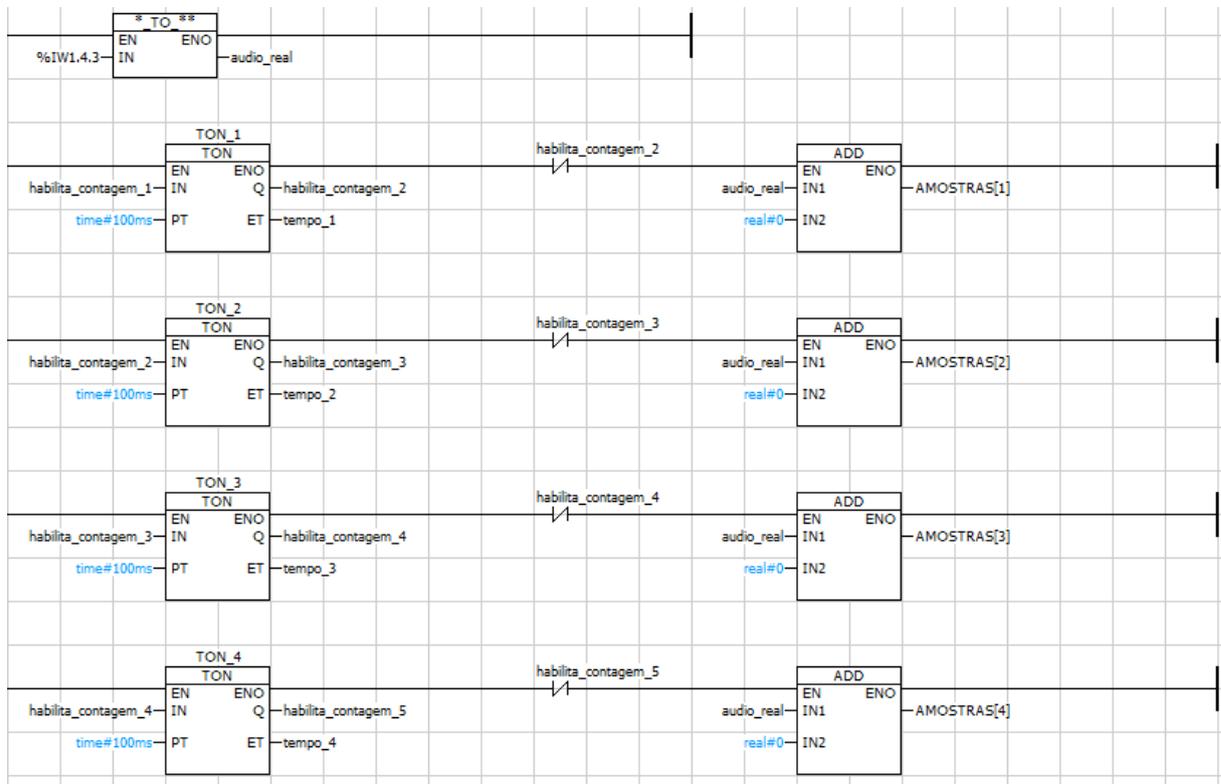
Após a execução, o controle retorna ao programa principal, onde se verifica se o sensor está devidamente conectado através do bloco *verifica_leitura_sensores*. No entanto, a relação entre o valor analógico lido pelo sensor e os níveis de decibéis (dB) não foi implementada, pois não foi possível realizar uma calibração acurada e precisa devido à ausência de um equipamento especializado para a medição de dB.

Caso o sensor esteja funcional, o acionamento das lâmpadas de comunicação local é realizado diretamente no programa principal. Essa abordagem foi necessária porque as funções de temporização não podem ser implementadas diretamente em blocos funcionais ou funções. No sistema, foi estabelecido um intervalo de valores de decibéis considerado normal para a operação. Quando a leitura indica um som significativamente mais alto, provocando oscilações fora dessa faixa, seja para valores acima ou abaixo, a lâmpada de sinalização é acionada. Quando não há um som mais alto, espera-se um tempo para verificar se a oscilação retornou para o padrão de oscilação de silêncio, e desativa a lâmpada.

Se a leitura permanecer dentro da faixa normal, o sistema entra em um temporizador, para confirmar que a variação está realmente estável e que não se trata de uma oscilação pontual causada por um som mais alto. Após o período de temporização, caso a estabilidade seja mantida, a lâmpada é desligada, indicando que as condições de áudio estão normalizadas.

A sub-rotina do sensor de áudio, [Figura 27](#), foi desenvolvida com o propósito de calcular o valor *Root Mean Square* (RMS), reduzindo a oscilação natural das medições e gerando uma média mais estável das variações de áudio.

Figura 27 – Coleta das amostras para cálculo do RMS

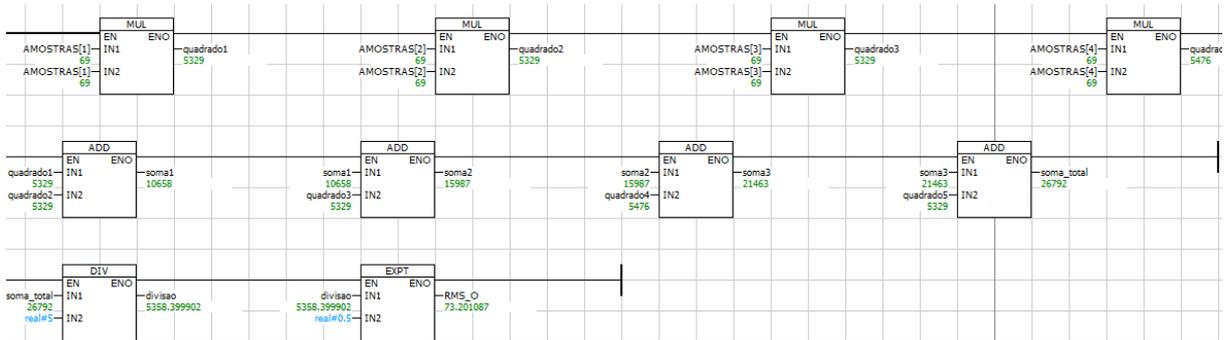


Fonte: Autor

O primeiro passo é converter o tipo de variável de entrada para o formato real, garantindo maior precisão nos cálculos subsequentes. Em seguida, realiza-se a coleta de 5 amostras, cada uma registrada com um intervalo de 100 ms. As amostras coletadas são armazenadas em um *Data Block*.

O cálculo do RMS, [Figura 28](#), é realizado numa Função em etapas: cada amostra é elevada ao quadrado e, em seguida, essas potências são somadas e armazenadas em uma variável auxiliar. A soma total é dividida pelo número de amostras coletadas (neste caso, 5), para obter a média dos valores ao quadrado. Por fim, calcula-se a raiz quadrada do resultado, obtendo o valor RMS que será utilizado pelo programa principal.

Figura 28 – Cálculo do RMS

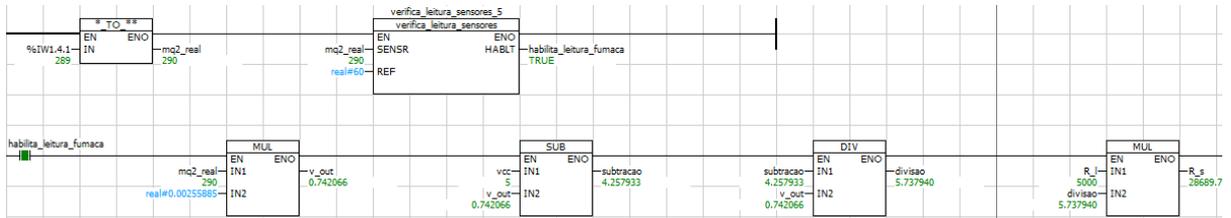


Fonte: Autor

3.2.2 Programa 2

A programação do sensor de fumaça foi desenvolvida em um programa separado, considerando a importância crítica dessa variável para o monitoramento do ambiente. O primeiro passo foi a conversão da variável de entrada do módulo analógico correspondente ao MQ2 para o tipo real. Em seguida, foi implementado o bloco *verifica_leitura_sensores*, Figura 29.

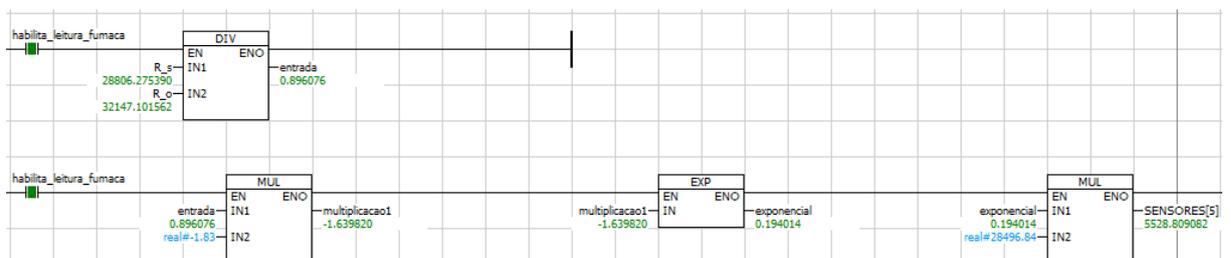
Figura 29 – Leitura da saída do MQ2



Fonte: Autor

Após essa verificação, foi realizada a relação entre o valor analógico lido pelo sensor e a tensão de saída, necessária para calcular o R_s (resistência do sensor) utilizando a fórmula do divisor de tensão. Logo, determinou-se a relação R_s/R_o (R_o é a resistência do sensor em atmosfera limpa). Em seguida, aplicou-se (3.3), que correlaciona a relação R_s/R_o com a concentração de gás em partes por milhão (ppm), Figura 30.

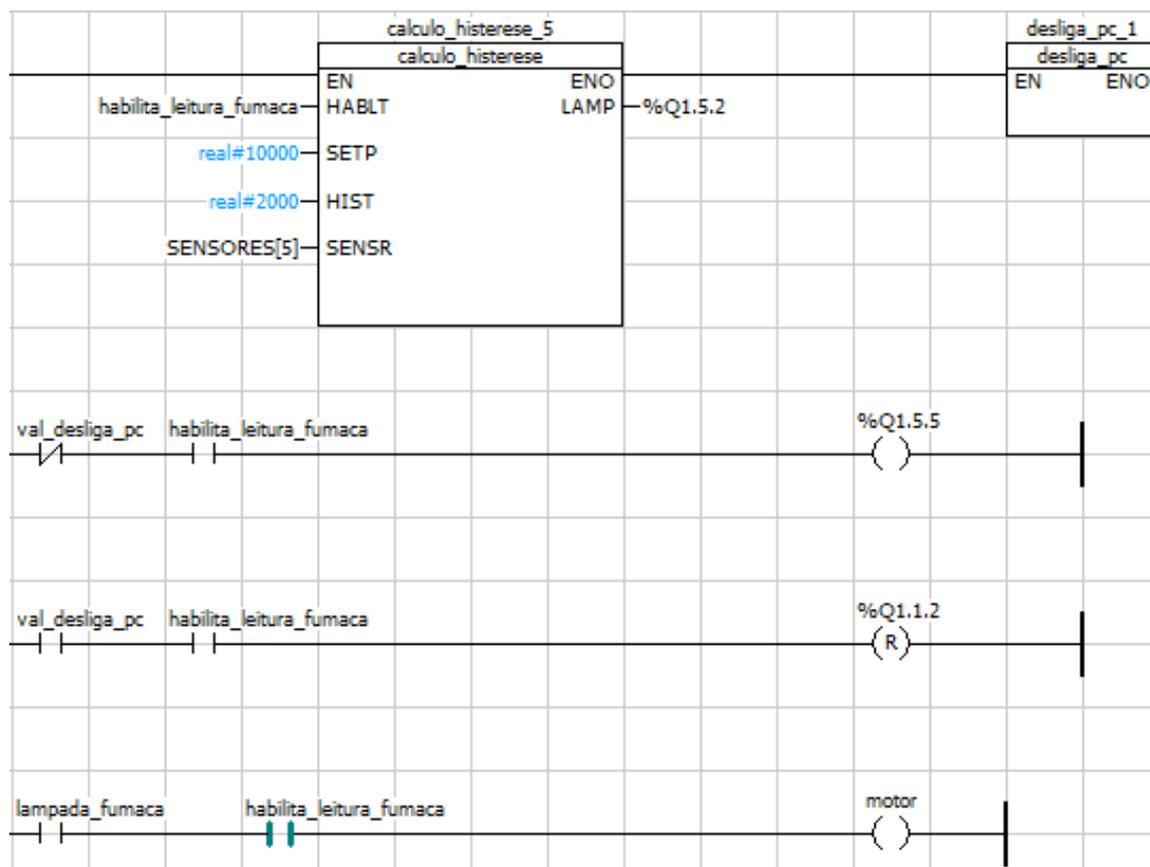
Figura 30 – Cálculo em ppm



Fonte: Autor

Posteriormente, foi implementado um o bloco *calculo_histerese* com o objetivo de controlar o acionamento da lâmpada de comunicação local, e um bloco *desliga_pc* que seta a variável *val_desliga_pc* para *TRUE*, [Figura 31](#). Caso a leitura do sensor apresente problemas, simplesmente desativa a energia dos computadores, se for detectada fumaça no ambiente, o sistema desativa a energia utilizando *reset*, sendo somente possível reativar com a reinicialização do CLP, e ativa o motor para dissipar a fumaça.

Figura 31 – Comunicação local e controle da energia dos computadores



Fonte: Autor

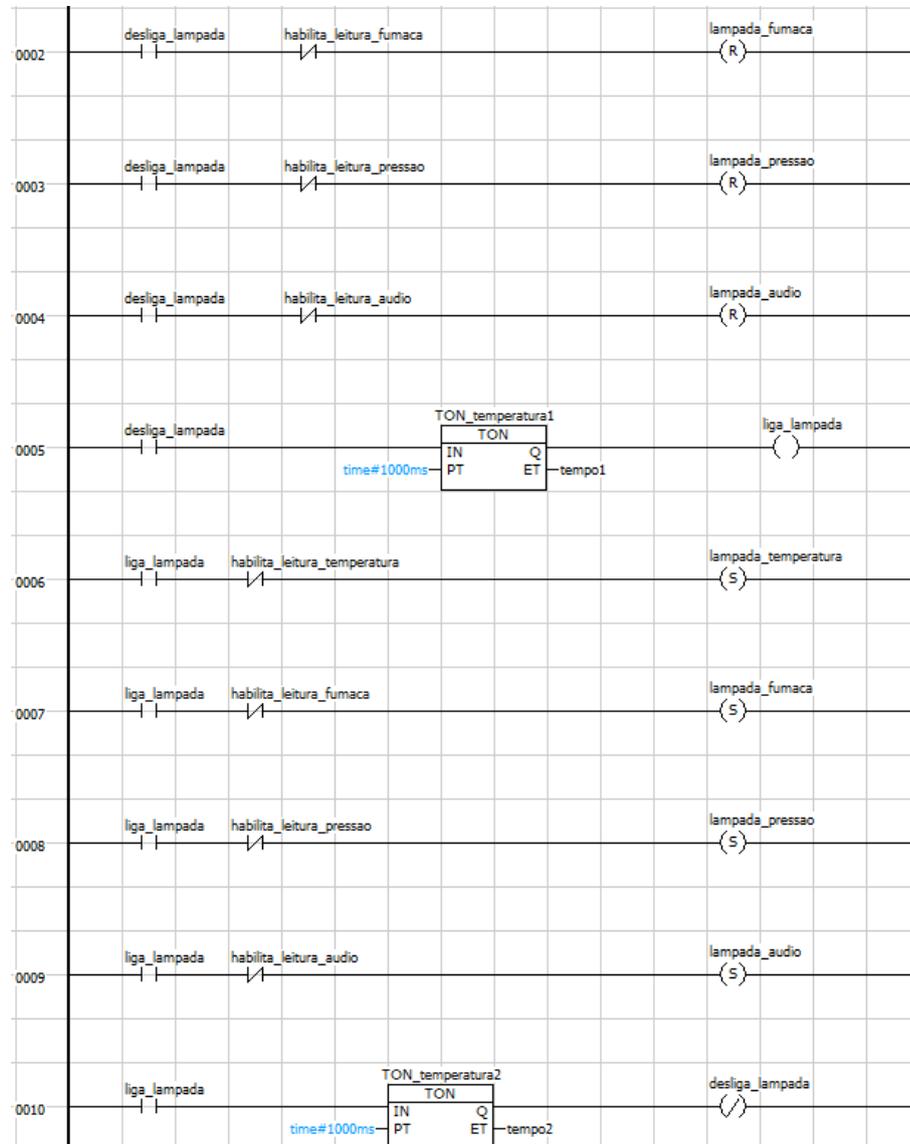
3.2.3 Programa 3

O terceiro programa, [Figura 32](#) desenvolvido tem a função de controlar o comportamento das lâmpadas de comunicação local, fazendo com que elas pisquem quando não há leitura dos sensores. Isso pode ocorrer por falhas de alimentação dos sensores ou pela ausência de transmissão de dados para o módulo analógico do CLP.

Esse programa foi implementado separadamente para garantir que qualquer falha seja detectada e comunicada de forma instantânea. Ele utiliza dois temporizadores que determinam o tempo de acendimento e o tempo de apagamento das lâmpadas, permitindo que elas pisquem em uma frequência constante sempre que houver uma falha.

O uso de *set* e *reset* nos blocos de controle garante que o erro seja sinalizado de maneira eficiente, alertando o operador sobre o problema na leitura dos sensores.

Figura 32 – Caso de erro de leitura dos sensores



Fonte: Autor

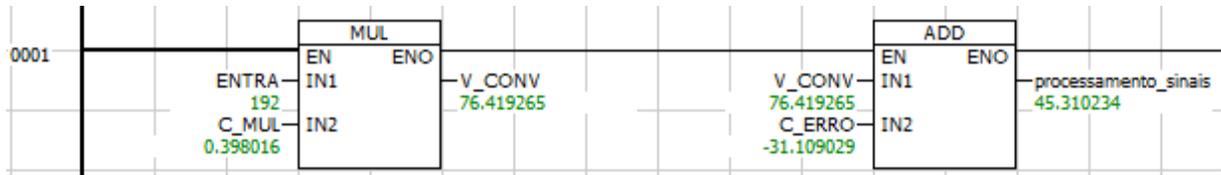
3.2.4 Funções e Blocos Funcionais auxiliares

A programação das funções e blocos funcionais auxiliares foi essencial para organizar e simplificar o desenvolvimento do sistema de monitoramento, permitindo que tarefas específicas fossem encapsuladas e reutilizadas em diferentes partes do programa principal.

A função `processamento_sinais`, Figura 33, foi projetada para realizar a conversão dos valores analógicos lidos pelos sensores em grandezas físicas de interesse, como temperatura ou pressão, utilizando equações específicas para cada tipo de sensor. O funcionamento da função inicia-se com o valor analógico lido pelo módulo correspondente

sendo passado para um bloco de multiplicação, que o multiplica por uma constante característica do sensor. Em seguida, o resultado dessa operação é processado por um bloco de adição, onde é somado um valor de erro ou ajuste.

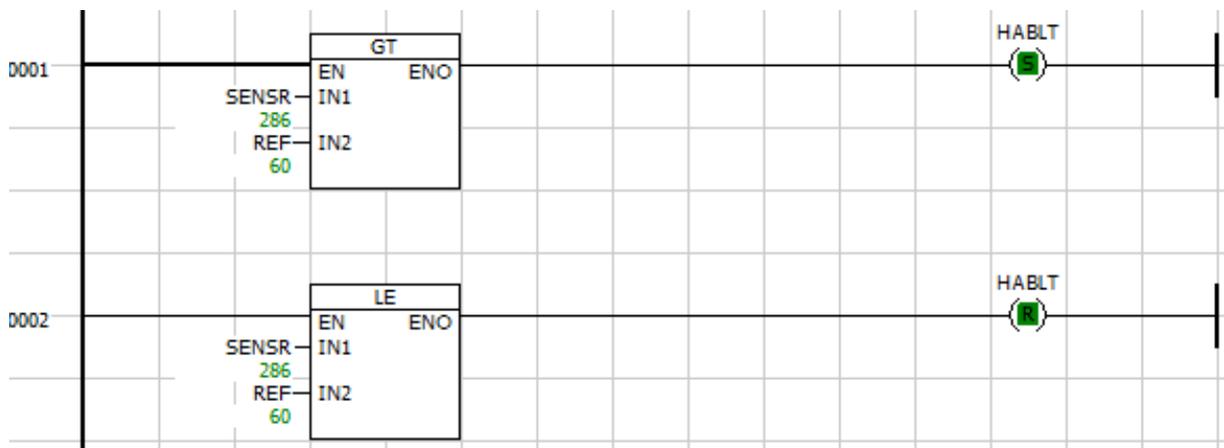
Figura 33 – Função de processamento de sinais



Fonte: Autor

O bloco funcional *verifica_leitura_sensores*, Figura 34 foi implementado com o propósito de verificar a integridade da leitura dos sensores conectados ao sistema. Ele utiliza blocos de comparação para avaliar se o valor recebido do sensor está acima de um valor de referência pré-estabelecido. Esse valor de referência foi determinado experimentalmente, desconectando o fio de saída dos sensores e anotando o valor retornado pelo módulo analógico nessas condições.

Figura 34 – Bloco Funcional para verificar a leitura dos sensores



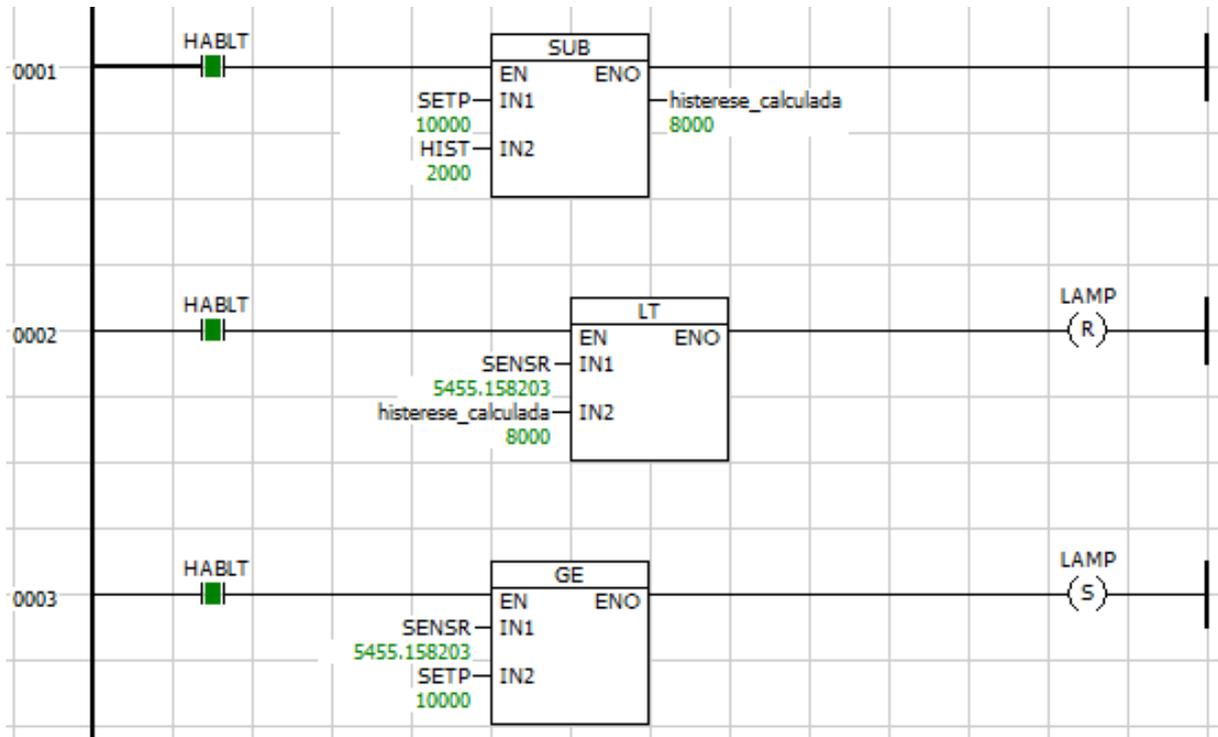
Fonte: Autor

Caso o valor recebido seja maior do que o valor de referência, a saída do bloco funcional é ajustada para *TRUE*, caso contrário, a saída é definida como *FALSE*. O controle dessas saídas foi implementado utilizando operações de *set* e *reset*, garantindo a consistência do sinal enviado ao programa principal.

O bloco de *calcula_histerese*, Figura 35, foi implementado para controlar a ativação da lâmpada de comunicação local de forma a evitar oscilações indesejadas no acionamento devido a pequenas variações do sinal. O funcionamento inicia com a entrada do valor a ser comparado, histerese e o *set point*. Primeiramente, é calculado o valor da histerese ajustada por meio de um bloco de subtração, no qual o *set point* é reduzido pela histerese. Se o

valor a ser comparado for menor que a histerese ajustada, a variável *booleana* de saída é redefinida para *FALSE* utilizando um comando *reset*. Caso seja maior do que o *set point*, a variável é definida como *TRUE* através de um comando *set*.

Figura 35 – Bloco Funcional para cálculo da histerese



Fonte: Autor

4 Resultados

O desenvolvimento do sistema de monitoramento e controle foi orientado pela necessidade de criar uma infraestrutura robusta e eficiente, capaz de operar em um ambiente de servidor de pequeno porte. Utilizando um CLP e sensores especializados, o sistema foi projetado para monitorar variáveis críticas, como temperatura, pressão, fumaça e ruído. A escolha do CLP MPC6006.05 da série A1 baseou-se em sua compatibilidade com os sensores e em sua alta capacidade de processamento, essencial para integrar diversos dispositivos e realizar análises em tempo real. Esse CLP foi configurado para gerenciar de forma centralizada o controle e a coleta de dados de todos os dispositivos conectados, garantindo eficiência e precisão nas operações do sistema.

A partir da integração de sensores ao CLP, foi possível observar o desempenho de cada um em tempo real. O sensor de temperatura, por exemplo, forneceu resultados confiáveis durante os testes de bancada, com leituras analógicas mapeadas em intervalos que refletiram com precisão as variações da temperatura ambiente, conforme indicado na [Figura 36](#). Já o sensor de pressão foi programado para monitorar mudanças no fluxo de ar e, durante os testes, demonstrou sensibilidade suficiente para detectar variações simuladas, como bloqueios no fluxo de um ar-condicionado, representado na [Figura 37](#).

Figura 36 – Temperatura alta detectada



Fonte: Autor

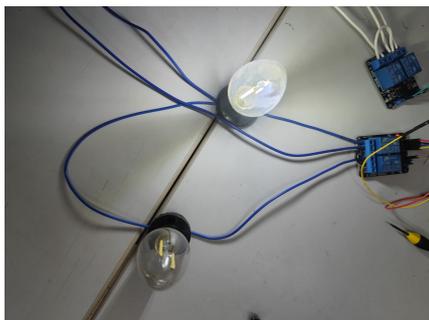
Figura 37 – Pressão Negativa detectada



Fonte: Autor

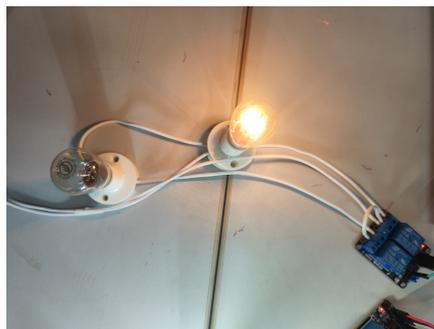
Quanto ao sensor de áudio, utilizado para detectar ruídos elevados, ele demonstrou sensibilidade para registrar sons acima de um certo limiar, conforme ilustrado na [Figura 38](#), mas foi impactado pelos ruídos típicos do laboratório, como conversas e movimentação. Em relação ao sensor MQ-2, que monitora concentrações de fumaça e gases inflamáveis, sua saída analógica foi ajustada para leitura no módulo do CLP, e a programação foi configurada para disparar um alarme sempre que os valores ultrapassassem um limite determinado, indicado na [Figura 39](#). Esse comportamento foi validado durante os testes, respondendo adequadamente à presença de fumaça.

Figura 38 – Ruído detectado



Fonte: Autor

Figura 39 – Fumaça detectada detectada



Fonte: Autor

O motor, embora não fosse exatamente de um exaustor, foi integrado ao sistema para validar o controle via inversor Siemens Micro Master. A implementação possibilitou o controle de ligar e desligar o motor utilizando um relé acionado pelo CLP, [Figura 40](#), mostrando que é viável operar o motor através do inversor em um ambiente controlado de bancada. Esse sucesso indicou que o mesmo princípio poderia ser aplicado em um motor de exaustor, ajustando as configurações conforme as necessidades do sistema.

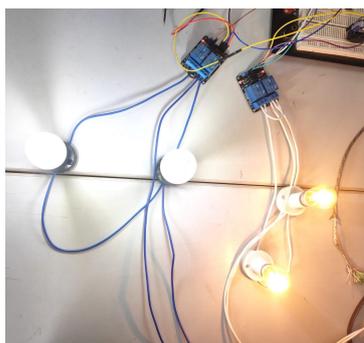
Figura 40 – Motor digitalmente ativado



Fonte: Autor

Além disso, o sistema foi complementado com um conjunto de lâmpadas para comunicação local, fornecendo sinais visuais simples, porém eficazes, sobre o status do servidor e do ambiente monitorado, como demonstrado na [Figura 41](#).

Figura 41 – Caso de falha nas leituras dos sensores



Fonte: Autor

As lâmpadas foram configuradas para acender ou piscar conforme as leituras dos sensores, representando estados como alerta, operação normal ou falha, [Tabela 5](#).

Tabela 5 – Valores de referência para sensores e atuadores.

Lâmpada	Valor para Acender	Valor para Apagar	Valor para Falha
Temperatura	35.0°C	30.0°C	7500
Pressão	42 kPa	43 kPa	-9 kPa
Áudio	> 80 e < 60	entre 60 e 80	0
Fumaça	10000 ppm	8000 ppm	4,16 ppm

Essa solução, de baixo custo, permitiu uma forma intuitiva de comunicação local em tempo real sem a necessidade de interfaces digitais complexas, sendo particularmente útil em ambientes industriais. No entanto, a principal limitação dessa abordagem reside na quantidade de informações transmitidas, que depende do número de saídas disponíveis no módulo digital, e na impossibilidade de monitorar os valores das variáveis analógicas sem um sistema de supervisão. O funcionamento completo do sistema pode ser conferido em: <https://youtu.be/URt08zT9i6s>.

Esses resultados, além de validarem a funcionalidade do sistema em condições controladas de laboratório, também evidenciam algumas das limitações enfrentadas, que podem ser superadas com ajustes e complementações no sistema final.

4.1 Limitações

A utilização de um sensor de umidade foi descartada devido a limitações técnicas. Muitos sensores de umidade no mercado operam de forma digital, transmitindo dados em alta velocidade por protocolos que exigem um processamento mais avançado. Como o CLP utilizado possui entradas digitais convencionais, ele não seria capaz de interpretar diretamente os dados digitais desses sensores, inviabilizando sua integração.

Além disso, a maior parte dos sensores de umidade disponíveis no mercado é projetada para aplicações específicas, como medição no solo. O modelo HR202, que seria uma opção, exige características técnicas muito específicas, como alimentação de 1,5 V AC e frequência de operação entre 500 Hz e 2 kHz. Essas condições exigiriam um ambiente controlado para um funcionamento adequado, o que demandaria ajustes rigorosos nas condições ambientais e calibração do sensor para garantir a precisão da medição da umidade relativa.

Por essas razões, a inclusão desse sensor no projeto traria complexidade adicional, tornando-se inviável dentro das limitações dessa etapa. Optou-se por simplificar o sistema, o que garantiu maior confiabilidade e viabilidade na execução dos objetivos propostos.

Além disso, devido à limitação de tempo e ao foco nas funcionalidades principais, não foi possível implementar uma rampa de controle dinâmico para o motor de exaustão, que ajustaria a velocidade do motor conforme a concentração de fumaça detectada. A ideia inicial era que o motor operasse em sua velocidade máxima quando a fumaça fosse alta, e diminuísse proporcionalmente à medida que a concentração de fumaça caísse.

Outra funcionalidade que não foi implementada foi a comunicação remota com o usuário. A intenção era utilizar um ESP32 para integrar um bot no Telegram, que enviaria mensagens periódicas com informações do sistema e alertas de emergência. No entanto, a integração entre o módulo de comunicação do CLP e o ESP32 foi inviável devido à necessidade de um adaptador para converter o sinal RS-232 para RX/TX, o que impossibilitou a transmissão de dados entre os dispositivos, limitando o projeto a operações locais.

Por fim, os testes realizados em um laboratório com alta circulação de pessoas dificultaram a calibração de alguns sensores. Quando o sistema for implementado em um ambiente mais controlado, será possível ajustar os parâmetros para garantir a precisão das medições.

Conclusão

O desenvolvimento de uma bancada para monitoramento e controle ambiental de servidores por meio de um CLP demonstrou ser uma solução viável e eficaz para atender às demandas de ambientes críticos, como os datacenters. A partir da integração de sensores e atuadores com o CLP, foi possível criar um sistema que não apenas monitora variáveis ambientais essenciais, temperatura, umidade e fluxo de ar, mas também executa controles automatizados para manter esses parâmetros dentro de níveis ideais. Esse controle foi indispensável para prevenir falhas, aumentar a eficiência energética e garantir a continuidade operacional de sistemas digitais.

Além disso, a implementação prática deste projeto possibilitou a validação da capacidade do CLP em lidar com a complexidade dos sistemas modernos, evidenciando sua flexibilidade e confiabilidade. A utilização da linguagem *Ladder* destaca o papel do CLP como elemento central em soluções de automação e controle.

A criação de um sistema de comunicação de falhas local também foi um diferencial, permitindo que o ambiente monitorado oferecesse respostas rápidas a eventos adversos. Este componente reforça a importância de sistemas proativos na prevenção de problemas operacionais, contribuindo para a sustentabilidade de datacenters e outros ambientes críticos.

No entanto, algumas funcionalidades planejadas não foram completamente implementadas devido a limitações de hardware e recursos disponíveis. Para trabalhos futuros, podem se concentrar na superação dessas limitações com a implementação de sistemas de monitoramento de dados mais avançados, melhoria na comunicação entre o CLP e inserção de outros sistemas de controle. A exploração de novos sensores e a implementação de métodos mais robustos de análise de dados, como aprendizado de máquina, podem oferecer uma camada adicional de eficiência e segurança, tornando o monitoramento e controle ambiental ainda mais eficazes em ambientes críticos como datacenters.

Ademais, planeja-se construir um protótipo seguro e integrado para alocar os sensores numa sala experimental do laboratório visando o monitoramento e a validação da operação do sistema. Além disso, planeja-se não apenas monitorar os dados, mas criar laços de controle.

Por fim, o trabalho realizado promoveu não apenas a aplicação prática de conceitos de automação industrial, mas também o aprendizado e a familiarização com tecnologias de ponta. Os resultados obtidos demonstraram a capacidade do sistema desenvolvido em atender às exigências atuais, enquanto a experiência adquirida representa um passo significativo para a replicação e expansão de projetos semelhantes em contextos reais. Portanto,

este estudo contribui tanto para a evolução tecnológica na gestão de datacenters quanto para o enriquecimento do conhecimento técnico e científico no campo da automação industrial.

Referências

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. *Thermal Guidelines for Data Processing Environments*. 4th. ed. Atlanta, GA: ASHRAE, 2015.

AROWOLO, M. O.; ADEKUNLE, A. A.; OPEYEMI, M. O. Design and implementation of a plc trainer workstation. *Journal of Mechatronics Engineering*, Federal University Oye – Ekiti, p. –, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/IEC 22237-1:2023 — Infraestruturas de data center e instalações de telecomunicações*. [S.l.], 2023. Parte 1: Construção, projeto e especificação geral.

British Standards Institute. *61131-3:2013 - Programmable Controllers - Part 3: Programming Languages*. [S.l.], 2013. Technical Report. Disponível em: <<https://bsol.bsigroup.com/Search/Search?searchKey=61131-3&OriginPage=Header+Search+Box&autoSuggestion=false>><https://bsol.bsigroup.com/Search/Search?searchKey=61131-3&OriginPage=Header+Search+Box&autoSuggestion=false>.

CHEN, S. et al. Design and application of seabed sediment temperature and pressure measurement and control software. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, v. 2366, n. 1, p. 012012, nov 2022. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2366/1/012012>><https://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2366/1/012012>.

DERBYSHIRE, R.; GREEN, B.; HUTCHISON, D. “talking a different language”: Anticipating adversary attack cost for cyber risk assessment. *Computers Security*, v. 103, p. 102163, 2021. ISSN 0167-4048. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404820304363>><https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404820304363>.

DURãES, M. C. O.; KIDA, A. A.; PRATES, R. M. Modeling a groundwater collection system using petri nets. *Journal of Control Engineering and Computing*, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brazil, v. 9, n. 2, p. 15314–01e, 2023.

ELECTRONIC INDUSTRIES ALLIANCE. *EIA/CEA-310-E: Electronic Equipment Cabinets, Racks, Panels, and Associated Equipment*. [S.l.], 2005. Disponível em: <https://www.tiaonline.org/>.

ENERGY STAR. *12 Ways to Save Energy in Data Centers and Server Rooms*. 2020. https://www.energystar.gov/products/low_carbon_it_campaign/12_ways_save_energy_data_center. Accessed on February 14, 2020.

Freescale Semiconductor Inc. *MPX5700: Data Sheet - Technical Data*. Rev 10. Austin, Texas, 2012. Disponível em: <https://www.nxp.com>. Acesso em: 25 nov. 2024.

GENG, H. *Data Center Handbook: Plan, Design, Build, and Operations of a Smart Data Center*. 2. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2021. ISBN 978-1-119-51581-0.

GROEN, P. et al. Software architecture for control and data acquisition of linear plasma generator magnum-psi. *Fusion Engineering and Design*, v. 88, n. 6-8, p. 1174–1177, 2013.

- GUILI, P. et al. Automatic control and detection systems for low-level radioactive waste drums. *Journal of Instrumentation*, v. 15, n. 12, p. P12022, dec 2020. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/15/12/P12022>><https://dx.doi.org/10.1088/1748-0221/15/12/P12022>.
- Hanwei Electronics Co., Ltd. *Technical Data: MQ-2 Gas Sensor*. Zhengzhou, China, 2024. Disponível em: <http://www.hwsensor.com>. Acesso em: 25 nov. 2024.
- HENNIG, C. et al. Connecting programmable logic controllers (plc) to control and data acquisition: a comparison of the jet and wendelstein 7-x approach. *Fusion Engineering and Design*, Elsevier, p. –, 2020.
- HULEWICZ, Z. K. A.; DZIARSKI, K. Distributed control system dcs using a plc controller. *ITM Web of Conferences*, EDP Sciences, v. 28, p. 01041, 2019.
- KUROSE, J.; ROSS, K. *Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down*. Pearson, 2010. ISBN 9788588639973. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=raZtQwAACAAJ>><https://books.google.com.br/books?id=raZtQwAACAAJ>.
- LANGNER, R. Stuxnet: dissecting a cyberwarfare weapon. *IEEE Security & Privacy*, IEEE, v. 9, n. 3, p. 49–51, 2011.
- LOVE, J. *Hazard Analysis*. [S.l.]: Springer, 2007.
- MAESSCHALCK, S. et al. Walking under the ladder logic: Plc-vbs: a plc control logic vulnerability scanning tool. *Computers Security*, v. 127, p. 103116, 2023. ISSN 0167-4048. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404823000263>><https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167404823000263>.
- MARNÉ, P. de et al. Standardization of the hard- and software used to operate manipulators at asdex upgrade. *Fusion Engineering and Design*, v. 123, p. 754–758, 2017.
- MEI, L.; ZHANG, K.; HONGQIANG, G. A large number of stepping motor network construction by plc. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, v. 94, n. 1, p. 012078, nov 2017. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/94/1/012078>><https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/94/1/012078>.
- NICULESCU, F.; SAVESCU, A.; MITRU, A. Transmitting data over the network using an opc server. *MATEC Web of Conferences*, v. 210, p. 03002, 2018.
- SERHANE, A. et al. Programmable logic controllers based systems (plc-bs): vulnerabilities and threats. *Springer Nature Switzerland AG*, Springer Nature Switzerland AG, 2019.
- SIEMENS. *Library of General Functions (LGF) for SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) and SIMATIC S7-1200 / S7-1500*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://sie.ag/3aeTFKz>><https://sie.ag/3aeTFKz>.
- SIEMENS, P. *MICRO MASTER and MIDI MASTER Operating Instructions*. [S.l.], 1996. © Siemens plc 1996.

SILVA, L. V. F.; CARNEIRO, S. R. R. Protótipo de um sistema para supervisão e controle do fluido de perfuração em plataformas onshore. *Journal of Control Engineering and Computing*, Federal University of Alfenas, v. 5, n. 2, p. 184–188, 2019.

TIRIAN, G. O. et al. Plc programming to optimize water flow in secondary cooling zone. In: *Journal of Physics: Conference Series*. [S.l.]: IOP Publishing, 2020. v. 1426, p. 012020.