



**FACULDADE DE ENGENHARIA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA
ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**Projecto de um sistema de controlo remoto para as
comportas a jusante da barragem da Central Hidroeléctrica
da Chicamba (CHC)**

Autor:

Fernando, Dalton Domingos

Supervisores:

Da UEM: MSc. Fernando Chachaia, Eng.^º

Da Instituição: Eng.^º Mateus G. Mudji Mamboza

Maputo, Junho de 2025



FACULDADE DE ENGENHARIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA

ESTÁGIO PROFISSIONAL

**Projecto de um sistema de controlo remoto para as
comportas a jusante da barragem da Central Hidroeléctrica
da Chicamba (CHC)**

Autor:

Fernando, Dalton Domingos

Supervisores:

Da UEM: MSc. Fernando Chachaia, Eng.^º

Da Instituição: Eng.^º Mateus G. Mudji Mamboza

Maputo, Junho de 2025

DECLARAÇÃO DE ORIGINALIDADE

Eu, Dalton Domingos Fernando, declaro por minha honra, que o trabalho apresentado é de minha autoria e nele observei os requisitos e recomendações da Universidade Eduardo Mondlane, concernentes à elaboração de trabalhos de investigação científica. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Junho de 2025

(Dalton Domingos Fernando)

EPIGRAFE

“Até aqui o Senhor nos ajudou”

1 Samuel 7:12

DEDICATORIA

Dedico este Trabalho aos meus pais: Domingos Fernando e Eva Majete Miquicene, pelo seu amor, apoio emocional e financeiro, por serem um exemplo de vida pra mim. Dedico também aos meus irmãos e amigos pelo carinho e apoio moral ao longo da minha Caminhada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradecer a Deus pela vida, saúde, motivação e por me proporcionar sabedoria e energias suficientes para o desenvolvimento deste trabalho. Especial agradecimento aos meus pais, Domingos Fernando e Eva Majete Miquicene, por terem sido minha primeira fonte de inspiração, pelos conselhos dados, motivações incansáveis e por tudo de maravilhoso que concederam à minha vida. Agradeço aos meus irmãos, Diana Domingos, Décio Domingos e Deocleity Domingos pela inspiração e pelo suporte emocional e acadêmico.

O meu especial agradecimento ao MSc. Fernando Chachaia, Eng.^º meu supervisor, pela paciência, disponibilidade, atenção, ensinamentos e pela inspiração devido ao seu elevado nível de experiência profissional. Suas contribuições foram fundamentais e sua orientação foi essencial para o progresso deste projecto.

Agradeço à EDM pela oportunidade de estágio que me concedeu, permitindo que eu elaborasse este relatório, o qual marca a conclusão do meu curso de licenciatura. Ao meu supervisor da EDM, Eng.^º Mateus G. Mudji Mamboza, meu sincero agradecimento pela paciência, dedicação e prontidão em me ajudar em cada etapa deste trabalho.

Aos meus amigos que tornaram-se irmãos Vanilson Odair, Edilson, Gerónimo, Daniel Juvenald e Hélio, vão os meus especiais agradecimentos pelo suporte que me deram no processo de crescimento social e académico.

A todos que talvez não tenha citado que de forma directa ou indirecta contribuíram na minha caminhada.

Muito Obrigado!

RESUMO

Nos ambientes industriais, os sistemas de monitoramento e controle remoto exercem um papel essencial, ao permitirem a supervisão e o gerenciamento de processos, equipamentos e sistemas de forma remota. Essa capacidade contribui para o aumento da eficiência operacional, uma vez que minimiza a necessidade de intervenção humana, agiliza os tempos de resposta e promove uma maior optimização das operações. Nesse contexto surge a proposta de desenvolvimento de um sistema de controle remoto para as comportas a jusante da barragem da Central Hidroeléctrica da Chicamba (CHC), com o intuito de modernizar e tornar mais eficiente a operação destes dispositivos. As comportas, actualmente operadas manualmente no local, desempenham um papel fundamental na segurança e manutenção da central, permitindo a descarga de água após o turbinamento e a obturação do tubo de aspiração para eventuais inspecções ou reparações. A ausência de um sistema de controle remoto compromete a flexibilidade operacional e a segurança dos trabalhadores. O sistema proposto utiliza sensores de posição para monitorar o movimento da comporta de forma precisa e um inversor de frequência para controlar a velocidade de accionamento da comportas. A interface Homem-Máquina (IHM) desenvolvida permite o monitoramento em tempo real e controle da comporta, aumentando a confiabilidade, reduzindo o tempo de resposta a falhas e evitando deslocamentos desnecessários. A implementação será baseada no *PLC S7-1200* da Siemens, programado no ambiente *TIA Portal*, garantindo robustez e integração com os sistemas modernos de automação. A proposta contribui para a eficiência, segurança e sustentabilidade da operação da barragem da Chicamba.

Palavras-chave: Comportas, Controlo remoto, CLP, IHM.

ABSTRACTS

In industrial environments, remote monitoring and control systems play an essential role, enabling the remote supervision and management of processes, equipment, and systems. This capability contributes to increased operational efficiency by minimizing the need for human intervention, speeding up response times, and promoting greater operational optimization.

In this context, we propose the development of a remote-control system for the gates downstream of the Chicamba Hydroelectric Power Plant (CHC) dam, aiming to modernize and improve the efficiency of these devices. The gates, currently operated manually on-site, play a fundamental role in plant safety and maintenance, allowing water to be discharged after turbine operation and sealing the suction pipe for possible inspections or repairs. The lack of a remote-control system compromises operational flexibility and worker safety. The proposed system uses incremental encoder position sensors and limit switches to precisely monitor the electric winch movement, and frequency inverters to control the gate actuation speed. The Human-Machine Interface (HMI) developed will allow real-time monitoring of the gate position, increasing reliability, reducing response time to failures, and avoiding unnecessary displacements. The implementation will be based on the Siemens S7-1200 PLC, programmed in the TIA Portal environment, ensuring robustness and integration with modern automation systems. The proposal contributes to the efficiency, safety, and sustainability of dam operations.

Keywords: Gates, Remote Control, PLC, HMI.

ÍNDICE

1	CAPITULO 1: FUNDAMENTAÇÃO DO PROJECTO.....	1
1.1	Introdução	1
1.2	Formulação do problema.....	1
1.3	Justificativa.....	2
1.4	Objectivos.....	3
1.4.1	Objectivo geral	3
1.4.2	Objectivos específicos	3
1.5	Metodologia	3
1.6	Estrutura do trabalho	4
2	CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1	Considerações iniciais.....	5
2.2	Comportas Hidráulicas	5
2.2.1	Comportas Planas	5
2.3	Automação de Processos.....	6
2.4	Pirâmide de Automação	8
2.5	Controladores Lógicos Programáveis.....	10
2.5.1	Aplicações e vantagens dos controladores lógicos programáveis	10
2.5.2	Utilização dos CLPs.....	12
2.5.3	Arquitectura dos CLPs	14
2.5.4	Estrutura interna de um PLC	14
2.5.5	Princípios de funcionamento do PLC	16
2.6	Linguagens de Programação do PLC.....	18
2.6.1	Linguagem Ladder (LD)	19
2.6.2	Lista de Instruções	20
2.6.3	Texto Estruturado	20
2.6.4	Diagrama de Blocos de Funções	20
2.6.5	Sequenciamento Gráfico de Funções.....	20

2.7	Sistemas Supervisórios	21
2.7.1	Controle de supervisório e aquisição de dados (SCADA).....	22
2.7.2	Interfaces homem-máquina (IHMs).....	22
3	CAPÍTULO III: APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ONDE DECORREU O ESTÁGIO PROFISSIONAL (EDM).....	25
3.1	Considerações iniciais.....	25
3.2	Central Hidroelétrica da Chicamba – CHC: Breve Descrição.....	25
3.2.1	A central (casa de maquinas)	26
3.2.2	Subestação	27
3.2.3	Barragem	27
4	CAPÍTULO IV: ESTUDO DO SISTEMA DE CONTROLE DAS COMPORTAS.....	30
4.1	Considerações iniciais.....	30
4.2	Comporta a jusante da central	30
4.2.1	Descrição do tabuleiro	31
4.2.2	Descrição das peças fixas	31
4.2.3	Guincho de manobra	31
4.2.4	Princípio de Funcionamento do Guincho de Manobra	32
4.2.5	Sistema de Controlo do Guincho de manobra	33
5	CAPITULO V: PROPOSTA DO SISTEMA DE CONTROLO REMOTO	34
5.1	Considerações Iniciais.....	34
5.2	Proposta do sistema.....	34
5.3	Descrição de funcionamento do sistema.....	34
5.4	Descrição dos componentes	36
5.4.1	Descrição do PLC	36
5.4.2	Módulo Controlador Lógico Programável (PLC S7-1200)	37
5.4.3	Fonte de Alimentação	37
5.4.4	Sensores de Posição	37
5.4.5	Encoder	37

5.4.6	Módulo IHM (Interface Homem Máquina)	38
5.4.7	Inversor de Frequência	38
5.4.8	Módulo de segurança e paragem de emergência.....	38
5.5	Circuitos de Potência.....	38
5.6	Apresentação do programa de automação proposto.....	39
5.6.1	Variáveis do Sistema e sua descrição	39
5.6.2	Elaboração de circuitos do PLC.....	44
5.6.3	Programação da IHM (Interface Homem Maquina)	50
6	CAPÍTULO VI: ESTIMATIVA DE CUSTO E ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA	53
6.1	Considerações Iniciais.....	53
7	CAPÍTULO VII: CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
7.1	Conclusão	57
7.2	Recomendações.....	58
7.3	Bibliografia.....	59

LISTA DE SIMBOLOS

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

CLP – Controlador Lógico Programável

TIA – *Totally Integrated Automation / Automação Totalmente Integrado*

IP – *Internet Protocol / Protocolo de Internet*

IHM – Interface Homem Maquina

CPU – *Central Processing Unit / Unidade Central de Processamento*

CM – *Comunication Module / Módulo de Comunicação*

AC – *Alternating Current / Corrente alternada*

DC – *Direct Current / Corrente contínua*

EDM – Eletricidade De Moçambique

CHC – Central Hidroelétrica da Chicamba

Hz – Hertz

I/O – *Input/Output / Entrada/Saída*

kV – quilo-Volt

kW – quilo-Watt

km – quilômetro

m – metro

m³ – metro cúbico

HSC – *High Speed Counter / Contador de alta velocidade*

MES – *Manufacturing Execution System / Sistema de Execução na Manufactura*

ERP – Enterprise Resource Planning / Planeamento de Recursos Empresariais

rpm – Rotações por minuto

PID – Proporcional, Integral e Derivativo

SCADA – *Supervisory Control And Data Acquisition* / Sistema de Supervisão, Controlo e Aquisição de Dados

SFC – *Sequencial Flow Chart* / Gráfico de Funções Sequenciais

ST – *Structured Text* / Texto Estruturado

LD – Ladder

IL – *Instruction List* / Lista de Instruções

FBD – *Function Block Diagram* / Diagrama de Blocos de Funções

NEMA – *National Electrical Manufacturers Association* / Associação dos Fabricantes de Electrica

IEC – *International Electrotechnical Commission* / Comissão Electrotécnica Internacional

MW – Mega-Watt

MVA – Mega-Volt-Ampère

AT1 – *Auxiliar Transformer 1* / Transformador Auxiliar 1

AT2 – *Auxiliar Transformer 2* / Transformador Auxiliar 2

CL – Linha com nível de tensão 110kV

FL – Linha com nível de tensão 22kV

T1 – Transformador Principal 1

T2 – Transformador Principal 2

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comportas de segmento [16]	5
Figura 2: Conceito da automação [1].....	6
Figura 3: Pirâmide dos níveis da automação. [1].....	8
Figura 4:Controlador lógico programável.[6].....	10
Figura 5: Representação de sistemas de controle [7]	13
Figura 6: Diagrama de blocos de um controlador lógico programável.[7].....	14
Figura 7: Arquitectura dos CPLs.[8].....	14
Figura 8: Estrutura básica de um PLC.[10].....	16
Figura 9: princípios de funcionamento – diagrama em blocos. [8].....	17
Figura 10: Sistema SCADA.[6]	22
Figura 11: Interfaces homem-máquina (IHMs).[6]	23
Figura 12: Vista a satélite da Barragem e central da Chicamba [11].....	25
Figura 13: Ilustração da Central da Chicamba.	26
Figura 14: Ilustração da Subestação.	27
Figura 15: Ilustração da Barragem da Chicamba.	28
Figura 16: Comportas a Jusante da Central da Chicamba.....	30
Figura 17: Ilustração do guincho eléctrico de cabo e carinho, responsável pela movimentação das comportas.[12].....	32
Figura 18: Digrama ilustrativo da interligação dos elementos do sistema proposto.	35
Figura 19: Controladores distribuídos pelo desempenho e complexidade de aplicação	36
Figura 20: Captura de tela da primeira secção do programa desenvolvido, Modo de Operação da Comporta.	45
Figura 21: Captura de tela da Segunda Secção do programa desenvolvido.....	46
Figura 22: Ilustração das entradas digitais de contagem rápida do PLC.....	47
Figura 23: Ilustração da processo de leitura do Encoder.	47
Figura 24: Ilustração das instruções usadas para determinar o deslocamento da Comporta.....	48
Figura 25: Ilustração do processo de troca de velocidade do motor.	49
Figura 26: Ilustração da Operação dos sensores de posição.....	49
Figura 27: Ilustração da logica para a abertura e fecho da Comporta.....	50
Figura 28: Conexão entre a CPU S7-1200 e a IHM.	51
Figura 29: Ecrã principal da IHM desenvolvida para o projecto.....	51
Figura 30: Ecrã principal da IHM no modo runtime.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das linguagens segundo a norma IEC 61131-3.[7].....	19
Tabela 2: Instruções para diagrama ladder [9]	19
Tabela 3: Características das comportas a jusante.....	31
Tabela 4.1: variáveis de entrada conectadas ao Controlador Logico Programável.....	40
Tabela 5.1: variáveis de siada conectadas ao Controlador Logico Programável	42
Tabela 6: Detalhamento das variáveis de entrada no Variador de Frequência.	43
Tabela 7: Lista de definição das entradas do sistema proposto.	44
Tabela 8: Lista de definição das saídas do sistema proposto.	44
Tabela 9.1: Especificação técnica e estimativa do custo de aquisição dos componentes necessários para implementação da proposta do Projecto.	53

1 CAPITULO 1: FUNDAMENTAÇÃO DO PROJECTO

1.1 Introdução

A Barragem da central hidroeléctrica da Chicamba foi construída com o objectivo de garantir a afluência dos caudais para a exploração na central hidroeléctrica de Mavuzi e mais tarde concebida para produção de energia eléctrica. Para produção de energia eléctrica a barragem possui comportas a montante e a jusante para permitir a passagem das águas pelas turbinas do Grupo gerador 1 e 2 até o rio Revue.

As comportas jusante encontram-se a jusante da barragem da central, na bacia de dissipação e permite a descarga das águas no rio Revue após o turbinamento, bem como possibilita a vista ou observação do tubo de aspiração da turbina para eventuais reparações ou inspecções. Estas comportas possuem um sistema de controle que permite a abertura e o fecho no local não podendo comandar-se remotamente ou seja directamente da sala de controle da central, diferentemente das máquinas e outros equipamentos que são monitoradas e controlados a partir da sala de controle da central.

Desta forma, surge o presente trabalho cuja a proposta é projectar um sistema que permite accionar e controlar as comportas a jusante do grupo gerador 1 e 2 remotamente através de uma interface amigável que ilustre, em tempo real, os eventos decorrente do accionamento da comporta, possibilitando uma operação flexível e com maior confiabilidade ao operador sem que seja necessário deslocar-se ao local.

O sistema de controle remoto das comportas a jusante é um sistema isolado especificamente para as comportas a jusante da central hidroeléctrica de Chicamba por este motivo não implicará modificações na configurações do sistema de monitoramento da central.

1.2 Formulação do problema

Embora que as reabilitações ocorridas de 2013 a 2016 reformaram as Comportas e tornaram o sistema de accionamento das comportas moderno, o accionamento (abertura e fecho) das comportas jusante ainda são realizadas no local.

Estando esta desprovida de um sistema de controle a distância reduz a capacidade de controlo daqueles que trabalham com a comporta uma vez que para accionar a comporta há necessidade se deslocar até o local. Logo questões como a segurança dos trabalhadores e flexibilidade das operações aquando da manutenção que podem comprometer o plano de produção da central são colocadas em causa.

Com o sistema de controlo remoto, todo o processo de abertura e fecho das comportas podem ser executadas a partir da sala de controlo, o que garante maior produtividade, flexibilidade e segurança operacional.

Tendo em conta este cenário, surge a pergunta de partida: **Como executar o accionamento e controle das comportas a jusante da central hidroeléctrica de Chicamba remotamente?**

1.3 Justificativa

O controle de sistemas e processos é fundamental para garantir a eficiência, a segurança e a sustentabilidade de operações. Estes sistemas são capazes de responder de maneira mais precisa e eficiente às variações nas condições de operação. O desenvolvimento de um sistema de controle remoto para as comportas a jusante da Barragem da Central Hidroeléctrica da Chicamba para além ajudar na melhor interacção entre o operador e o processo, irá permitir a integração do controle das comportas a jusante a partir da sala de controle, como também optimiza os processos de controle e monitoramento, melhora a resposta a emergências e proporciona uma operação mais flexível e automatizada reduzindo o tempo de diagnóstico de avarias, melhorando significativamente a eficiência, segurança e sustentabilidade da operação da barragem.

Deste modo, o projecto não apenas atenderá às exigências operacionais actuais, mas também garantirá a segurança e a confiabilidade a longo prazo da infra-estrutura da hidroeléctrica.

1.4 Objectivos

1.4.1 Objectivo geral

Projectar um sistema de controle remoto para as comportas a jusante da barragem da Central Hidroeléctrica da Chicamba (CHC)

1.4.2 Objectivos específicos

- Estudar o sistema de controlo local das comportas a jusante da barragem da central hidroeléctrica da Chicamba;
- Propor o “*Layout*” do circuito das comportas e toda sua lógica de funcionamento;
- Desenvolver uma “*interface*” Homem Maquina para o monitoramento do estado da comporta;
- Fazer a estimativa do custo do projecto.

1.5 Metodologia

Para a elaboração do presente projecto, será realizada os seguintes procedimentos metodológicos:

- **Pesquisa bibliográfica:** Nesta etapa é realizada pesquisas bibliográficas em livros, artigos, consulta de manuais de programação e catálogos pertinentes ao conteúdo abordado, com o intuito de obter o máximo de dados necessários para a composição da componente teórica e ao desenvolvimento do presente projecto.
- **Pesquisa de campo:** Recolha de informações e dados no local de realização do projecto com os operadores e dirigentes da empresa.
- **Simulação Computacional:** Por meio dos softwares, TIA PORTAL, PLC S7 1200.

1.6 Estrutura do trabalho

Para melhor organização e compressão, o trabalho está dividido em sete capítulos.

O **primeiro capítulo** intitulado Fundamentação do Projecto é feita uma breve apresentação do trabalho, onde discute-se o objecto de estudo, apresenta-se a problemática que motiva a realização deste projecto e as principais metodologias a serem usadas no trabalho.

O **segundo capítulo** trata da revisão da literatura, é feita a fundamentação teórica de aspectos relevantes e suficientes para a resolução dos problemas identificados no capítulo um.

O **terceiro capítulo** neste capítulo faz-se uma breve apresentação da empresa onde decorreu o estágio profissional.

O **quarto capítulo** trata do caso de estudo, faz-se abordagem do objecto de estudo, com destaque para o seu sistema de controlo local.

O **quinto capítulo**, denominado Proposta do Sistema de Controlo Remoto, representa o foco principal deste trabalho. Aqui, dá-se uma explicação detalhada do projecto, se abordando os programas desenvolvidos para o PLC (Controlador Lógico Programável) e para a HMI (Interface Homem-Máquina).

O **sexto capítulo** intitulado Estimativa de custo e Especificação Técnica neste capítulo é apresentada a estimativa de custo da proposta de projecto, assim como a especificação técnica.

O **sétimo capítulo**, denominado Considerações finais, neste capítulo são apresentadas as conclusões relativas ao trabalho desenvolvido e recomendações para o desenvolvimento de futuros estudos e/ou projectos.

2 CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Considerações iniciais

Nesse capítulo é apresentada a fundamentação teórica de aspectos relevantes e suficientes para sustentação da solução proposta.

2.2 Comportas Hidráulicas

Segundo Gomes (2009), as comportas são os equipamentos que permitem controlar a quantidade de água que passa pelos descarregadores das barragens. Existem comportas planas, de vagão, de segmento, de charneira, insufláveis e ensecadeiras.



Figura 1: Comportas de segmento [16]

2.2.1 Comportas Planas

As comportas planas são constituídas por um tabuleiro com face plana em estrutura metálica que engloba peças fixas e equipamento de manobra. Aplicam-se geralmente em descargas de superfície ou em orifícios sob pressão, sendo a transmissão de impulsos e o guiamento realizados lateralmente, em ranhuras no betão ou em perfis metálicos, e o apoio da comporta na soleira. A abertura da comporta faz-se por subida do tabuleiro, accionado por intermédio de uma ou duas hastes metálicas com actuação por guincho ou servomotor, movimentando-se por deslizamento ou rolamento sobre as peças a periferia, consoante a comporta é instalada em descargas de superfície ou em orifícios sob pressão. Geralmente o apoio da estanqueidade faz-se do lado de jusante da comporta. Dentro das comportas planas podemos distinguir:

- Comportas de Vagão
- Comportas de Lagartas

2.3 Automação de Processos

O conceito de automação, segundo Rosário (2009), é a utilização de qualquer dispositivo mecânico ou electroeletrónico para controlar máquinas e processos. Uma definição ainda mais abrangente seria afirmar que a automação pode ser definida como a integração de conhecimentos substituindo a observação, os esforços e as decisões humanas por dispositivos (mecânicos, eléctricos, electrónicos) e softwares concebidos por meio de especificações funcionais e tecnológicas, com uso de metodologias. Basicamente, a automação é a integração de quatro grandes áreas (computação, mecânica, electrónica e sistemas de controle). Podemos desenhar o conceito da automação conforme o que é apresentado na Figura 2.

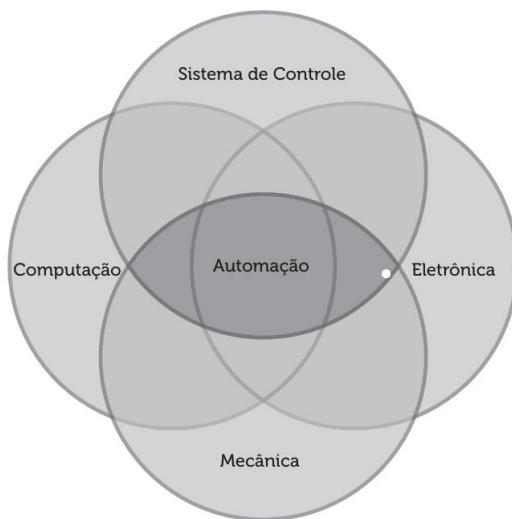


Figura 2: Conceito da automação [1]

Na Figura 2. a mecânica se refere à parte física do sistema; a electrónica aplica-se às funções de processamento de sinais e controle analógico; a computação dita a modelagem, análise e simulação, além de ser responsável pela execução dos algoritmos de controle; por fim, os sistemas de controle impõem o comportamento desejado ao sistema.

A evolução da electrónica, impulsionada pelo surgimento do transístor e dos circuitos integrados, possibilitou a redução do tamanho e dos custos dos painéis de supervisão. No entanto, mesmo com essas melhorias, a funcionalidade ainda se mantinha predominantemente analógica no controlo de processos.

Contudo, um avanço significativo ocorreu com o advento dos microprocessadores, pois viabilizaram a digitalização do controlo de processos, trazendo consigo uma série de vantagens em relação ao controlo analógico. Moore 1986 identificou várias dessas vantagens:

a. Flexibilidade proporcionada pela programação

- Flexibilidade na aplicação do equipamento digital: Modificações no processo de um equipamento analógico exigem mudanças físicas nas conexões internas, sendo onerosas e lentas. No equipamento digital, as mudanças ocorrem na programação por software, têm menor custo e são mais rápidas.
- Flexibilidade na medição dos parâmetros do processo: Grandezas medidas podem ser modificadas para representar condições reais de um processo que não podem ser medidas directamente, evitando inferências na malha de controlo.
- Flexibilidade no desempenho do controlo: Ajustes podem ser programados para optimizar um processo em situações impossíveis para um operador em uma planta analógica

b. Capacidade de armazenamento de dados

Os sistemas digitais têm uma capacidade de armazenamento muito superior que os sistemas analógicos. Isso ocorre devido à natureza digital dos dados, que são representados em forma binária (0 e 1). Essa representação binária permite que os dados sejam facilmente armazenados, manipulados e transmitidos de forma eficiente.

c. Incremento na detecção de defeitos e técnicas de manutenção

Como podem ser programados, circuitos digitais podem alertar quando determinado valor está abaixo ou acima de níveis aceitáveis. Na manutenção, o defeito pode ser rapidamente consertado ao substituir o módulo do circuito correspondente.

d. Baixo custo por unidade

A compactação dos circuitos digitais permite sua produção em grande escala a baixo custo. A dissipação reduzida de potência aumenta a vida útil dos componentes e reduz o consumo de energia.

2.4 Pirâmide de Automação

Segundo Quesada (2017), podemos dividir uma indústria em cinco níveis básicos e, com isso, montar uma pirâmide corporativa que chamaremos de “pirâmide da automação”, que está demonstrada na Figura 3, em conjunto com a rede de comunicação aplicada a cada nível.

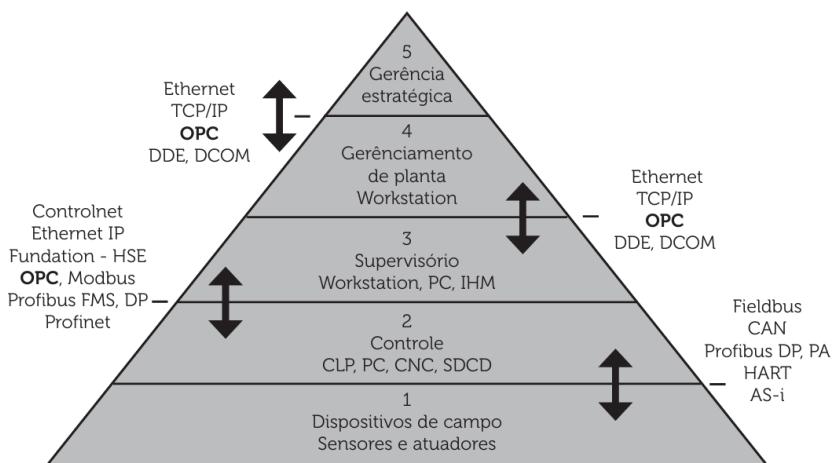


Figura 3: Pirâmide dos níveis da automação. [1]

Podemos perceber pela pirâmide que existe uma ligação entre os níveis, e essa ligação acontece com base na rede de dados corporativa, sendo que, para cada nível existe um tipo de rede, pois os equipamentos de rede dos níveis mais altos são também mais sensíveis e sofrem interferências dos equipamentos nos níveis mais baixos. Portanto, para esses devem ser empregados equipamentos de rede mais robustos e que garantam a transmissão de dados independentemente da insalubridade do ambiente. Segundo a pirâmide, temos cinco níveis, que são:

Nível 1 – dispositivos de campo, conhecido como “chão de fábrica”, é o nível mais baixo do processo produtivo, engloba todo o maquinário da indústria, é caracterizado por ser

composto por relés, conversores, sensores digitais e analógicos, inversores de frequência, sistemas de partida.

Nível 2 – controle de processos, é responsável por todo o controle dos elementos da automação empregados no Nível 1, onde podemos encontrar os controladores digitais, lógicos e dinâmicos, e os dispositivos de supervisão associados ao processo fabril. Esses equipamentos são responsáveis, também, por passar os comandos dos níveis superiores para as máquinas da planta da fábrica 3.

Nível 3 – supervisório, é o nível responsável pela supervisão da automação e, geralmente, apresenta um banco de dados relativos ao processo. Podemos encontrar aqui amplas quantidades de dados relativos à qualidade da produção, relatórios e estatísticas. Os sistemas supervisórios sintetizam as informações obtidas dos equipamentos dos níveis 1 e 2 e as repassam para os níveis administrativos (4 e 5).

Nível 4 – gerenciamento de planta, é o nível conhecido pela programação e pelo planejamento da planta fabril, passando as tarefas a serem implementadas para o nível 3, que as distribui para os níveis inferiores (1 e 2). Também é responsável pela logística e pelo controle de suprimentos. Podemos dizer que aqui ocorre o alinhamento entre as estratégias e as diretrizes da empresa com o nível de tecnologia empregada, tipos de processos e capacidade produtiva 5.

Nível 5 – direção da fábrica, é o nível que representa a gestão da fábrica, onde são montadas as estratégias de comércio, como marketing e vendas, além de delimitar a visão e missão da empresa. As tecnologias mais recentes para automação, do nível 3 em diante, podem ser consideradas como o MES (*Manufacturing Execution System*), software responsável pelo planejamento da execução dos processos, e o ERP (*Enterprise Resource Planning*), programa que realiza o planejamento de negócios e logística.

2.5 Controladores Lógicos Programáveis

De acordo com Associação Nacional de Fabricantes de Equipamentos Elétricos dos Estados Unidos da América (*National Electrical Manufacturers Association – NEMA*), o PLC (*Programmable Logic Controllers*) que é traduzido para o português como CLP (Controladores Lógicos Programáveis) é um aparelho electrónico digital, que utiliza uma memória programável para armazenar internamente instruções e para implementar funções específicas, tais como lógica, sequenciamento, temporização, contagem e aritmética, controlando, por meio de módulos de entradas e saídas, vários tipos de máquinas ou processos.

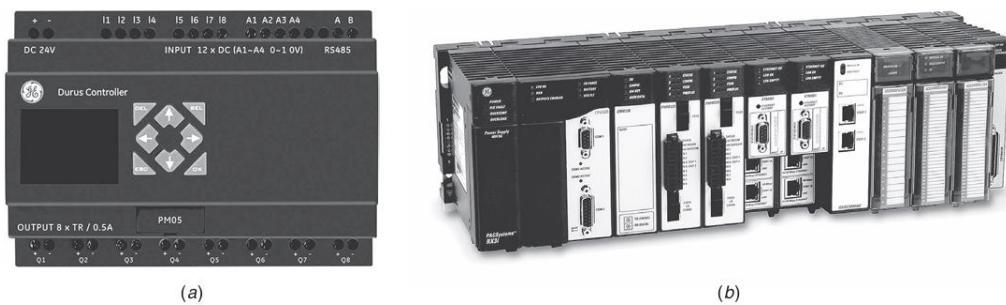


Figura 4:Controlador lógico programável.[6]

2.5.1 Aplicações e vantagens dos controladores lógicos programáveis

Segundo Petruzella (2014), os controladores programáveis oferecem várias vantagens em relação aos controles a relé convencionais. Os relés precisam ser instalados para executar uma função específica; quando o sistema requer uma modificação, os condutores do relé precisam ser substituídos ou modificados. Em casos extremos, como em uma indústria automotiva, o painel de controle deve ser substituído completamente, considerando que não é economicamente viável refazer a fiação do painel antigo no modelo trocado. Com o CLP, a maior parte desse trabalho com fiação foi eliminada além disso, ele tem dimensões e custo reduzidos. Sistemas de controles modernos ainda incluem relés, porém são raramente utilizados para a lógica.

Além da redução de custos, os CLPs oferecem vários outros benefícios, como:

- **Maior confiabilidade.** Uma vez escrito e testado, o programa pode ser facilmente transferido para outros CLPs. Como toda a lógica está contida em sua memória,

não há chance de cometer erro lógico na fiação. O programa elimina grande parte da fiação externa que normalmente seria necessária para o controle de um processo. A fiação, embora ainda seja necessária para conectar os dispositivos de campo, torna-se menos volumosa. Os CLPs oferecem ainda a confiabilidade associada aos componentes em estado sólido.

- **Mais flexibilidade.** É mais fácil criar e modificar um programa em um CLP do que ligar e religar os fios em um circuito. Com um CLP, as relações entre as entradas e as saídas são determinadas pelo usuário do programa mas, em vez do modo como eles são interconectados. Os fabricantes de equipamentos originais podem actualizar o sistema simplesmente enviando um novo programa; usuários finais podem modificá-lo no campo, ou, se desejarem, podem providenciar segurança de acordo com as características do equipamento, como travas e senhas para o programa.
- **Menor custo.** Os CLPs foram projectados originalmente para substituir o controle lógico a relé, e a redução de custos tem sido tão significativa que este está se tornando obsoleto, excepto para aplicações de potência. De modo geral, se uma aplicação utiliza mais de meia dúzia de relés de controle, provavelmente será mais económico instalar um CLP.
- **Capacidade de comunicações.** Um CLP pode comunicar-se com outros controladores ou com qualquer outro equipamento do computador para realizar funções como supervisão do controle, colecta de dados, dispositivos de monitoramento e parâmetros do processo, além de baixar e transferir programas.
- **Tempo de resposta rápido.** Os CLPs foram projectados para alta velocidade e aplicações em tempo real. O controlador programável opera em tempo real, o que significa que um evento que ocorre no campo resultará na execução de uma operação ou saída. Máquinas que processam milhares de itens por segundo e objectos que levam apenas uma fração de segundo próximo a um sensor requerem uma capacidade de resposta rápida do CLP.

- **Facilidade na verificação de defeitos.** Os CLPs possuem um diagnóstico residente e substituem funções que permitem ao usuário traçar e corrigir os problemas do programa e do equipamento facilmente. Para detectar e reparar problemas, os usuários podem visualizar o programa de controle em um monitor e observá-lo em tempo real à medida que ele está sendo executado.

O CLP, devido às suas características especiais de projecto, tem um campo de aplicação muito vasto. As dimensões reduzidas, extrema facilidade de montagem, possibilidade de armazenar os programas que descrevem o processo tornam o CLP ideal para aplicações em processos industriais, como:

- Indústria de plástico;
- Indústria petroquímica;
- Máquinas de embalagens;
- Instalações de ar condicionado e calefação;
- Indústria de açúcar e álcool;
- Papel e celulose;
- Indústrias alimentícias;
- Mineração.

2.5.2 Utilização dos CLPs

Franchi e De Camargo 2008 afirmam que toda planta industrial necessita de algum tipo de controlador para garantir uma operação segura e economicamente viável. Desde o nível mais simples, em que pode ser utilizado para controlar o motor eléctrico de um ventilador para regular a temperatura de uma sala, até um grau de complexidade elevado, controlando a planta de um reactor nuclear para produção de energia eléctrica. Embora existam tamanhos e complexidades diferentes, todos os sistemas de controle podem ser divididos em três partes com funções bem definidas:

- a) Os transdutores (sensores):** é um dispositivo que converte uma condição física do elemento sensor em um sinal eléctrico para ser utilizado pelo CLP através da conexão às entradas do CLP. Um exemplo típico é um botão de pressão momentânea, em que um sinal eléctrico é enviado do botão de pressão ao CLP, indicando sua condição actual (pressionado ou liberado).
- b) Actuadores:** sua função é converter o sinal eléctrico oriundo do CLP em uma condição física, normalmente ligando ou desligando algum elemento. Os actuadores são conectados às saídas do CLP. Um exemplo típico é fazer o controle do accionamento de um motor através do CLP. Neste caso a saída do CLP vai ligar ou desligar a bobina do contactor que o comanda.
- c) Controladores:** de acordo com os estados das suas entradas, o controlador utiliza um programa de controle para calcular os estados das suas saídas. Os sinais eléctricos das saídas são convertidos no processo através dos actuadores. Muitos actuadores geram movimentos, tais como válvulas, motores, bombas; outros utilizam energia eléctrica ou pneumática. O operador pode interagir com o controlador por meio dos parâmetros de controle. Alguns controladores podem mostrar o estado do processo em uma tela ou em um display. Um sistema de controle típico encontra-se na Figura 5.

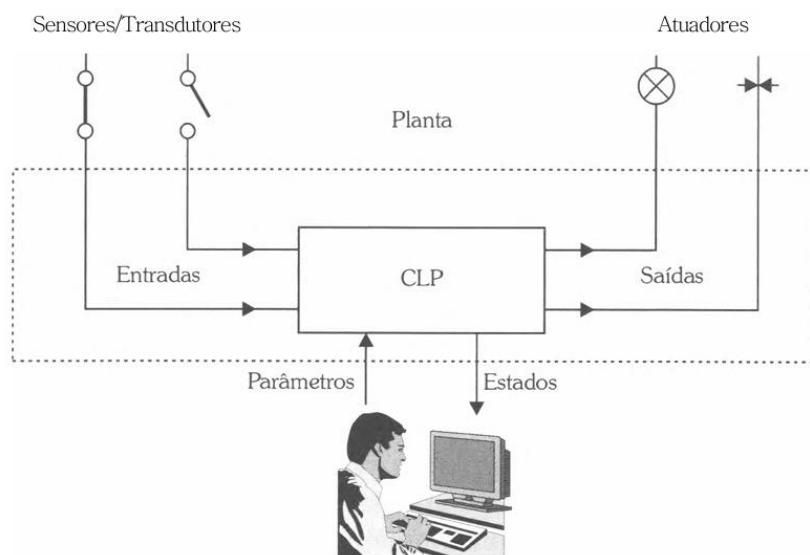


Figura 5: Representação de sistemas de controle [7]

2.5.3 Arquitectura dos CLPs

O termo arquitectura pode se referir ao equipamento, ao programa do CLP ou a combinação dos dois. Um controlador lógico programável pode ser dividido em duas partes, conforme a Figura 6:

- Uma unidade central de processamento;
- Sistemas de interface de entrada/saída.

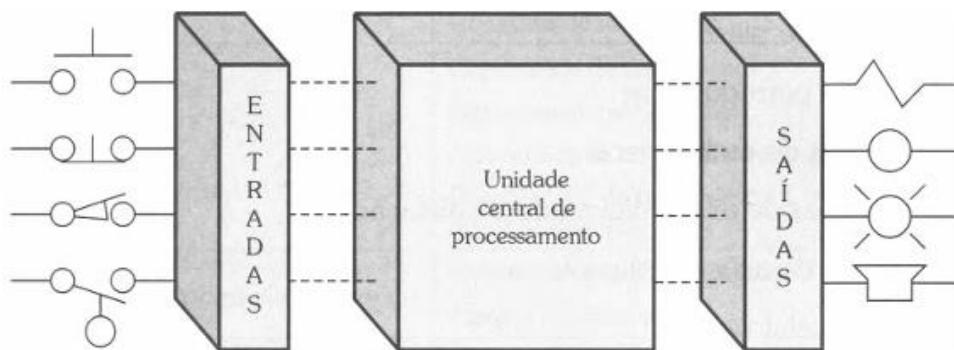


Figura 6: Diagrama de blocos de um controlador lógico programável.[7]

2.5.4 Estrutura interna de um PLC

O PLC é um dispositivo constituído por um microprocessador ou um microcontrolador, um programa monitor, uma memória de programa, uma memória de dados, uma ou mais interfaces de entrada, uma ou mais interfaces de saída e circuitos auxiliares, conforme mostra a Figura 7. (ANTONELLI, 2010).

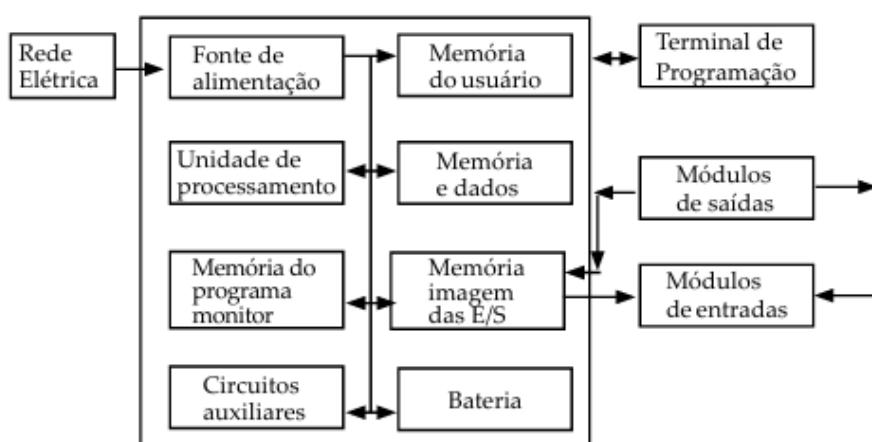


Figura 7: Arquitectura dos CPLs.[8]

- **Fonte de alimentação**

A fonte de alimentação de um PLC tem por finalidade converter a tensão de alimentação (110 à 220V AC) para a tensão de alimentação dos circuitos electrónicos (5V DC para o microprocessador, memórias e circuitos auxiliares e 12V DC para comunicação com o programador ou computador), bem como manter a carga da bateria e fornecer tensão para alimentação das entradas e saídas (12 ou 24V DC).

- **Unidade de Central de Processamento**

A CPU é responsável pelo funcionamento lógico de todos os circuitos. Nos PLCs modulares, a CPU geralmente está contida em apenas uma placa separada das demais. Já em PLCs de menor porte, a CPU e os demais circuitos geralmente estão contidos numa mesma placa.

- **Bateria**

A bateria utilizada no PLC tem por finalidade manter a alimentação do circuito do relógio de tempo real e manter parâmetros ou programas (quando utilizar memória do tipo RAM), mesmo em falta de energia eléctrica.

- **Memória do programa monitor**

O programa monitor é responsável pelo funcionamento geral do PLC, gerenciando todas as actividades do PLC. Este programa não pode ser alterado pelo usuário, sendo armazenado em memórias do tipo PROM, EPROM ou EEPROM, e funciona de forma semelhante ao sistema operacional dos computadores.

- **Memória do usuário**

Nesta memória é armazenado o programa desenvolvido pelo usuário, o qual pode ser alterado, tornando flexível a programação. Este programa geralmente é armazenado em memórias do tipo RAM, EPROM, EEPROM E FLASH-EPROM, cuja capacidade varia de acordo com a marca e o modelo de PLC.

- **Memória de dados**

Tem por finalidade armazenar os dados do programa do usuário, tais como valores de temporizadores, contadores, senhas, entre outros. Geralmente, a memória de dados utiliza partes da memória RAM do PLC.

- **Memória imagem das entradas e saídas**

Esta memória armazena informações dos estados das entradas e saídas do PLC, funcionando como uma tabela onde a CPU buscará informações durante o processamento do programa de usuário.

- **Circuitos auxiliares**

São circuitos responsáveis pela protecção de falhas na operação do PLC, tais como:

- Evitar o accionamento indevido das saídas quando o PLC é energizado;
- Evitar a perda de informações em caso de desenergização do PLC;
- Evitar erros de processamento, identificando falhas no microprocessador e emitindo informações de erro.

- **Módulos de entradas e saídas**

São circuitos de interface destinados a adequar electricamente os sinais de entrada, a fim de que sejam processados pela CPU, bem como adequar electricamente os sinais de saída, a fim de que possam actuar nos dispositivos controlados pelo PLC.

2.5.5 Princípios de funcionamento do PLC

Para melhor compreensão do funcionamento do PLC, pode-se dividi-lo em três partes básicas: Entradas, Unidade Central de Processamento (CPU - *Central Processing Unit*) e Saídas, conforme mostra a Figura 8.

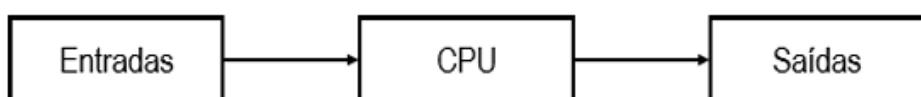


Figura 8: Estrutura básica de um PLC.[10]

Nas entradas do PLC são conectados os transdutores, dispositivos que informam electricamente as variáveis do processo à CPU. Esta, por sua vez, analisa as informações de entrada, a lógica de funcionamento do processo programada pelo usuário, activando ou desactivando as saídas do PLC. As saídas do PLC são conectadas a elementos actuadores, dispositivos que interagem com o processo, a fim de controlá-lo. O controlo e o processamento das informações de entrada e saída são feitos de forma sequencial, através de ciclos de varredura, conforme mostra a Figura 9. (ANTONELLI, 2010).

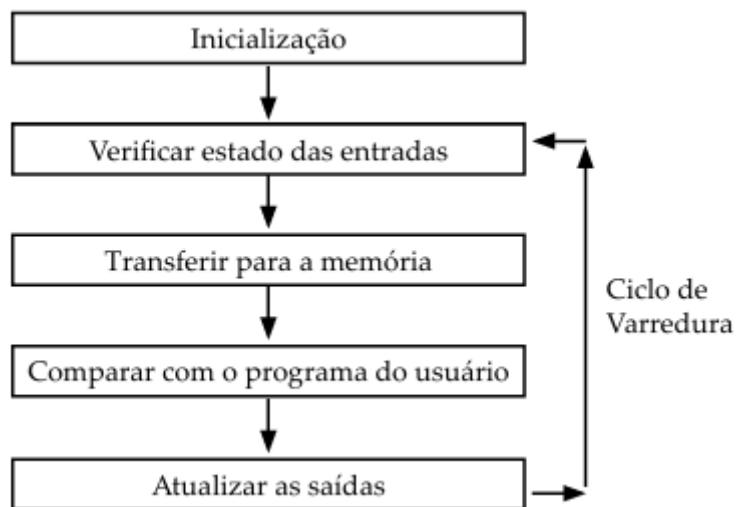


Figura 9: princípios de funcionamento – diagrama em blocos. [8]

a) Inicialização

No momento em que é ligado, o CLP executa uma série de operações pré programadas, gravadas em seu Programa Monitor:

- verifica o funcionamento electrónico da CPU, memórias e circuitos auxiliares;
- verifica a configuração interna e compara com os circuitos instalados;
- verifica o estado das chaves principais (*RUN/STOP*, *PROG* etc.);
- desactiva todas as saídas;
- verifica a existência de um programa de usuário;
- emite um aviso de erro caso algum dos itens acima falhe.

b) Verificar estado de entradas

O CLP lê os estados de cada uma das entradas, verificando se alguma foi accionada. O processo de leitura recebe o nome de Ciclo de Varredura (Sem) e normalmente é de alguns microsegundos (scan time).

c) Transferir para a Memória

Após o Ciclo de Varredura, o CLP armazena os resultados obtidos em uma região de memória chamada de Memória Imagem das Entradas e Saídas. Ela recebe este nome por ser um espelho do estado das entradas e saídas. Esta memória será consultada pelo CLP no decorrer do processamento do programa do usuário.

d) Comparar com o programa do usuário

O CLP ao executar o programa do usuário, após consultar a Memória Imagem das Entradas, actualiza o estado da Memória Imagem das Saídas, de acordo com as instruções definidas pelo usuário em seu programa.

e) Actualizar o estado das saídas

O CLP escreve o valor contido na Memória das Saídas, actualizando as interfaces ou módulos de saída. Inicia-se, então, um novo ciclo de varredura.

2.6 Linguagens de Programação do PLC

Visando atender aos diversos segmentos da indústria, incluindo seus usuários, e uniformizar as várias metodologias de programação dos controladores industriais, a norma IEC 61131-3 definiu sintáctica e semanticamente cinco linguagens de programação:

- Diagrama de Blocos de Funções (FBD - *Function Block Diagram*)
- Linguagem Ladder (LD - *Ladder Diagram*)
- Sequenciamento Gráfico de Funções (SFC - *System Function Chart*)
- Lista de Instruções (IL - *Instruction List*)
- Texto Estruturado (ST - *Structured Text*)

Três destas são gráficas e duas são textuais, conforme a Tabela 1:

Tabela 1: Descrição das linguagens segundo a norma IEC 61131-3.[7]

Texto Estruturado (ST)	Textuais
Lista de Instruções (IL)	
Diagrama de Blocos e Funções (FDB)	Gráficas
Linguagem Ladder	
Seqüenciamento Gráfico de Funções (SFC)	

2.6.1 Linguagem Ladder (LD)

É uma linguagem gráfica baseada na lógica de relés e contactos eléctricos para a realização de circuitos de comandos de accionamentos. Por ser a primeira linguagem utilizada pelos fabricantes, é a mais difundida e encontrada em quase todos os CLPs da actual geração. Bobinas e contactos são símbolos utilizados nessa linguagem.

Os símbolos de contactos programados em uma linha representam as condições que serão avaliadas de acordo com a lógica. Como resultado determinam o controle de uma saída, que normalmente é representado pelo símbolo de uma bobina. Recebeu vários nomes desde sua criação, entre eles diagrama do tipo escada, diagrama de contactos e linguagem de contactos. No entanto, poderia gerar confusão, já que a pronúncia é a mesma da palavra SCADA, a qual é comumente adoptada no meio industrial para referir-se aos sistemas supervisórios. Por último, "diagrama de contactos" somente esclarece que é um tipo de diagrama e não é suficiente para caracterizar que este seja implementado em CLP, uma vez que um diagrama de contactos também pode ser implementado utilizando elementos físicos discretos, como relés, contatores, temporizadores e outros, montados em painéis eléctricos. A Tabela 2 lista alguns dos elementos encontrados nesta linguagem.

Tabela 2: Instruções para diagrama ladder [9]

Instrução	Representação
Contato normalmente aberto - NA	- -
Contato normalmente fechado - NF	- / -
Bobina	- () -
Bobina Inversa (acionada, desenergiza)	- () -
Bobina Set	- (S) -
Bobina Reset	- (R) -

2.6.2 Lista de Instruções

Inspirada na linguagem assembly e de característica puramente sequencial, é caracterizada por instruções que possuem um operador e, dependendo do tipo de operação, podem incluir um ou mais operandos, separados por vírgulas. É indicada para pequenos CLPs ou para controle de processos simples.

2.6.3 Texto Estruturado

É uma linguagem textual de alto nível e muito poderosa, inspirada na linguagem Pascal, que contém todos os elementos essenciais de uma linguagem de programação moderna, incluindo as instruções condicionais (*IF-THEN-ELSE* e *CASE OF*) e instruções de iterações (*FOR*, *WHILE* e *REPEAT*). Como o seu nome sugere, encoraja o desenvolvimento de programação estruturada, sendo excelente para a definição de blocos funcionais complexos, os quais podem ser utilizados em qualquer outra linguagem IEC. Das linguagens textuais é a mais potente, portanto a mais recomendada para aplicações complexas que envolvam a descrição de comportamento seqüencial.

2.6.4 Diagrama de Blocos de Funções

É uma das linguagens gráficas de programação, muito popular na Europa, cujos elementos são expressos por blocos interligados, semelhantes aos utilizados em electrónica digital. Essa linguagem permite um desenvolvimento hierárquico e modular do software, uma vez que podem ser construídos blocos de funções mais complexos a partir de outros menores e mais simples. Normalmente os blocos são construídos utilizando a linguagem de texto estruturado. Por ser poderosa e versátil, tem recebido uma atenção especial por parte dos fabricantes. Seu uso é indicado para processos químicos em geral e em processamento descentralizado ou distribuído. Devido à sua importância, foi criada uma norma para atender especificamente a esses elementos (IEC 61499), visando incluir instruções mais poderosas e tornar mais clara sua programação.

2.6.5 Sequenciamento Gráfico de Funções

O SFC é uma linguagem gráfica que permite a descrição de acções sequenciais, paralelas e alternativas existentes numa aplicação de controle. Como é descendente directo do Grafcet, o SFC fornece os meios para estruturar uma unidade de organização de um programa num conjunto de etapas separadas por transições. A cada etapa está associado um conjunto de acções. A cada transição está associada uma receptividade que terá de ser satisfeita para que a transposição da transição ocorra, e assim o sistema

evolua para a etapa seguinte. Actualmente o SFC vem recebendo várias implementações nos CLPs de grande porte, afirmando-se como linguagem ideal para processos sequenciais.

Um item fundamental para utilização de um controlador lógico programável é a selecção da linguagem a ser utilizada, a qual depende de diversos factores, entre eles:

- Disponibilidade da linguagem no CLP.
- Grau de conhecimento do programador.
- Solução a ser implementada.
- Nível da descrição do problema.
- Estrutura do sistema de controle.

2.7 Sistemas Supervisórios

Quando se trabalha com sistemas automatizados complexos é muito difícil avaliar o que está a ocorrer num processo quando a análise é feita directamente na programação dos PLCs, ou seja, na representação baseada nas linguagens de programação referidas na Secção 2.6.

É neste contexto que a aplicação de sistemas de supervisão se torna necessária, pois fornecem uma interface amigável para facilitar o trabalho da equipe encarregada do sistema. Moares e Castruci (2007) definem sistemas supervisórios como sistemas digitais de monitoramento e operação da planta que gerenciam variáveis do processo. Esses sistemas colectam informações da planta de produção por meio de equipamentos de aquisição de dados, manipulam, analisam, armazenam e, posteriormente, apresentam as informações ao usuário através de uma interface de comunicação.

De acordo com Moares e Castruci (2007), actualmente as indústrias adoptam duas soluções para a supervisão de máquinas e processos, dependendo da complexidade e robustez do sistema. Essas soluções são a HMI (*Human-Machine Interface* ou Interface Homem-Máquina) e o SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition* ou Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados).

2.7.1 Controle de supervisório e aquisição de dados (SCADA)

A colecção de dados é simplificada pelo uso de um sistema SCADA (*supervisory control and data aquisition* – supervisório para aquisição de dados), mostrado na Figura 10. A troca de dados em um chão de fábrica (planta) com um computador de supervisão permite o registro de dados, uma mostra dos dados, tendências, baixas (*download*) de receitas, ajustes de parâmetros seleccionados e avaliação de produção de dados em geral. O supervisório adicional controla as capacidades e permite o ajuste de processos com precisão, para a eficiência máxima. Em geral, ao contrário do sistema de controle distribuído, o sistema SCADA normalmente se refere a um sistema que coordena mas não controla o processo em tempo real. Em um sistema SCADA, independentemente do desempenho das funções de controle do módulo de E/S dos CLPs sobre os dispositivos de campo enquanto são supervisionados por um pacote de programa (*software*) SCADA/HMI rodando em um computador hospedeiro (*host*), como mostra a Figura 5. A grande vantagem de um sistema SCADA é que os dados são armazenados automaticamente em uma forma que pode ser retornada para análise mais tarde, sem erro ou para um trabalho adicional. As medições são feitas sob o controle de processo e depois mostradas na tela e armazenadas para uma cópia. As medições de precisão são facilmente obtidas e não há limitações mecânicas para a velocidade de medição.

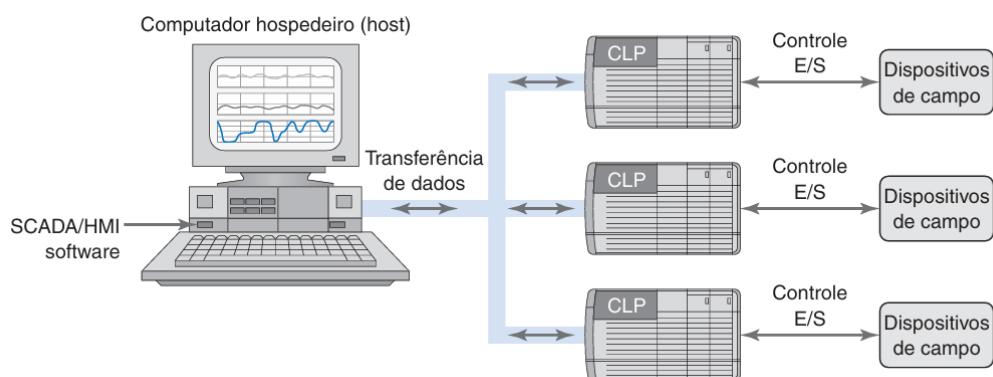


Figura 10: Sistema SCADA.[6]

2.7.2 Interfaces homem-máquina (IHMs)

Segundo Petruzella (2014), uma interface homem-máquina (IHM) pode ser conectada para comunicar com um CLP e substituir botões de comando, chaves selectoras, sinaleiros luminosos, chaves digitais manuais e outros dispositivos de controle no painel

do operador. Um teclado luminescente sensível ao toque (*touch-screen*) fornece ao operador uma interface que funciona como um painel de controle tradicional do operador. Essas interfaces homem-máquina possibilitam ao operador ao responsável pelo gerenciamento ver o funcionamento em tempo real. Por meio de um computador pessoal baseado no ajuste (*set-up*) do programa, é possível configurar as telas do mostrador para:

- Substituir botões de comando e sinaleiros luminosos com ícones de aparência real. O operador da máquina precisa apenas tocar no mostrador do painel para ativar os botões de comando.
- Mostrar operações no formato gráfico para facilitar a visão.
- Permitir ao operador mudar o tempo e a contagem presentes pelo toque no teclado numérico, na tela sensível ao toque.
- Mostrar os alarmes, completando com o tempo da ocorrência e o local.
- Mostrar como as variáveis mudam com o tempo.



Figura 11: Interfaces homem-máquina (IHMs).[6]

a) Modos de operação e funções da HMI

O funcionamento de uma HMI inicia no processo de comunicação com os equipamentos de campo, cujas informações são enviadas para o núcleo principal do *software*. O núcleo tem a função de distribuir e coordenar o fluxo das informações para diferentes repartições da HMI, até chegarem na forma esperada para o operador do sistema. De acordo com Pupo (2002), as HMIs operam em dois modos distintos:

- **Modo de desenvolvimento:** Este modo envolve a criação de telas gráficas e animações representativas do processo. Nele, os operadores e engenheiros

podem desenvolver as interfaces visuais que serão usadas para monitorar e controlar o processo industrial.

- **Modo Runtime:** Neste modo, a HMI exibe uma janela animada que mostra o andamento em tempo real do processo industrial. É o modo operacional em que os operadores interagem com as telas e informações para tomar decisões e controlar o sistema.

Segundo Moares e Castruci (2007), a HMI desempenha as seguintes funções:

- **Supervisão:** englobam todas as funções de monitoramento do processo, como elaboração de gráficos e relatórios de comportamento e tendência de variáveis analógicas e digitais.
- **Operação:** incluem ligar e desligar equipamentos e sequências de equipamentos, operação de malhas PID, mudança de modo de operação de equipamentos, entre outros. Algumas funções de uma HMI são detalhadas nas Secções que se seguem.

3 CAPÍTULO III: APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ONDE DECORREU O ESTÁGIO PROFISSIONAL (EDM)

3.1 Considerações iniciais

Nesse capítulo é apresentada a instituição onde se realizou o estágio profissional, bem como os departamentos que compõem a instituição.

3.2 Central Hidroelétrica da Chicamba – CHC: Breve Descrição

A Central Hidroelétrica da chicamba localiza-se na localidade de Bandula, Povoado de Chicamba Real no Distritos de Manica, Província de Manica, Moçambique. É uma das mais antigas Central de Moçambique e um dos principais pontos de produção de energia eléctrica para a zona Centro de Moçambique, desempenhando um papel muito importante na economia nacional.



Figura 12: Vista a satélite da Barragem e central da Chicamba [11]

É designada por central hidroeléctrica por converter a energia armazenada nas águas em energia eléctrica através do emprego de turbinas acopladas a geradores. A Central Hidroeléctrica da Chicamba conta com uma potência instalada de 44MW, a sua albufeira tem uma capacidade útil de cerca de 1.526 km³, com aproximadamente 120 km² de área

inundada com uma cota de 625 m, e os seus órgãos de segurança e descarga tem uma capacidade total de descarga de 1720 m³/s.

A planta é composta essencialmente por três (3) partes, a Barragem, Central (Casa de Maquinas) e a Subestação. Conforme ilustrado na figura 12.

3.2.1 A central (casa de maquinas)

A Central possui duas turbinas Francis horizontais com o veio vertical, com Potência nominal continua máxima a queda nominal de 22,6 MW com vazão nominal de 46 m³/s, operando com rotação nominal de 214 rpm, ao veio de cada uma destas turbinas, estão acoplados geradores síncronos trifásicos, com uma potência de 24 MVA cada (perfazendo 48 MVA no total), 50Hz, 6,6kV de tensão, 214 rpm de velocidade, 28 polos, $\cos \phi = 0,9$, com classe de isolamento no rotor B e F no estator, com excitação estática/ AVR, 120V, 600A de Excitação. Para além das turbinas e do grupo gerador podemos encontrar na central os sistemas de Refrigeração, Transformador de Excitação, o Regulador GOPS, a Cela de Fecho Neutro dos Grupos, a Sala dos Equipamentos de Combate à Incêndio e a Sala de Aparelhagem e Operação Eléctrica de 22kV, Sala de Baterias, a sala de controle, a sala de reles e outros.



Figura 13: Ilustração da Central da Chicamba.

[Autor 2025]

3.2.2 Subestação

Trata-se de uma Subestação que proporciona tensão a níveis de transmissão e distribuição: 110 kV e 22 kV. É constituída por seguintes equipamentos: Transformadores Principais (T1 e T2), Transformadores Auxiliares (AT1 e AT2), Transformador 3 (T3), Disjuntores de Barramento (CT1-52 e CT2-52), Disjuntores de Linha (CL76-52 e CL73-52), Disjuntor de entrada do Transformador 3 (CT3-52), duas linhas denominadas por CL76 e CL73 e outras duas denominadas FL53 e FL54. por onde se escoa à rede eléctrica a energia produzida e todos outros equipamentos de protecção e manobras.



Figura 14: Ilustração da Subestação.

[Autor 2025]

3.2.3 Barragem

A barragem da Chicamba está construída no rio Revué, principal afluente da margem esquerda do rio Búzi, numa garganta de afloramentos quartzitos conhecida por Chicamba Real, na província de Manica, a poente da cidade de Chimoio. A obra visa, presentemente a regularização interanual do caudal do rio Revué, a produção de energia em momentos de pico, e o abastecimento de agua às cidades de Chimoio e de Manica e a vila de Gondola.

A barragem é constituída por duas abóbadas. A abóbada principal, localizada no vale do antigo leito do rio, tem 75m de altura e formada por arcos parabólicos e tem o coroamento

a cota 625m . A abóbada secundária ou “da portela”, que fecha a portela da margem direita, tem 45m de altura.

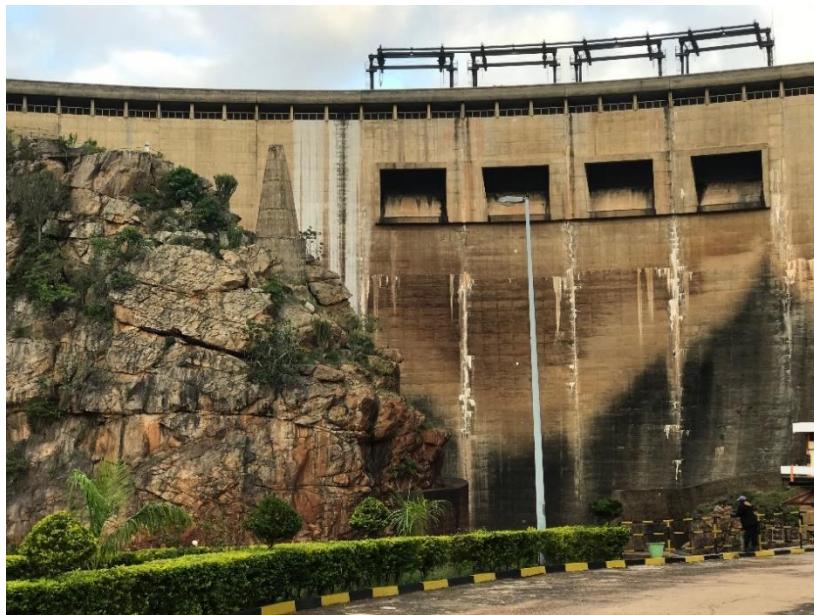


Figura 15: Ilustração da Barragem da Chicamba.

[Autor 2025]

A barragem é composta por:

- Albufeira
- Tomada de agua
- 4 Comportas descarregadoras de cheias;
- 2 Válvula Dispersora de Jacto oco
- 2 Comportas a montante
- 2 Comportas a jusante
- Bacia de dissipação

A Central Hidroeléctrica da Chicamba é constituída por quatro (4) departamentos, nomeadamente:

➤ **Departamento de Manutenção**

Este departamento é constituído essencialmente por duas equipes: Mecânica e Eléctrica, que são responsáveis pela manutenção das infra-estruturas e equipamentos que encontram-se na central.

➤ **Departamento de Operação**

Este departamento é constituída essencialmente por uma equipe de operadores, que são responsáveis por garantir a segurança dos equipamentos eléctricos e a integridade da rede eléctrica, bem como zelar pelas infra-estruturas de comunicação, sistemas de controle e monitoramento local e remoto da central.

➤ **Departamento de Observação e Estrutura**

Este departamento é responsável por zelar pela infra-estruturas isto é, condições da barragem, da central, e também são responsáveis pela monitorização do caudal, e do nível da albufeira, fornecendo cotas diárias do nível da albufeira (Quando a sonda instalada para fazer isso apresenta falhas).

➤ **Departamento de Aprovisionamento**

Este departamento é responsável pela gestão e aprovisionamento de todos os bens e matérias necessário para a correcto funcionamento da central.

4 CAPÍTULO IV: ESTUDO DO SISTEMA DE CONTROLE DAS COMPORTAS

4.1 Considerações iniciais

Nesse capítulo é feita o estudo das comportas, descrevendo sua composição, bem como explicando o funcionamento do actual sistema das comportas que se encontram na central da Chicamba.

4.2 Comporta a jusante da central

A finalidade das comportas a jusante é de possibilitar obturação do tubo de aspiração da turbina, quando houver necessidade de proceder a qualquer reparação ou inspecção nesta.

As comportas em numero de duas, são do tipo plano, com uma construção que as tornam bastante robustas e fecham por acção do peso próprio. A própria carga da água exerce sobre elas uma acção que conjuntamente com o peso, permitem uma melhor vedação. Estão situadas a jusante da central, na bacia de dissipação, e são colocadas em ranhuras próprias abertas no maciço da base do edifício.



Figura 16: Comportas a Jusante da Central da Chicamba.

[Autor 2025]

O resumo dos principais características das comportas Jusante são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Características das comportas a jusante.

	Comporta
Numero	2
Tipo	Plano
Largura do vão	6,935 m
Altura do vão	3,700 m
Cota soleira	558,70 m

[Autor 2025]

4.2.1 Descrição do tabuleiro

O tabuleiro é constituído por uma chapa de face travada por uma estrutura própria, e transmite as peças fixas a carga exercida nela pela água.

Do lado oposto a chapa de face o mesmo junto as extremidades do tabuleiro, estão montadas quatro molas laminares, duas de cada lado, cuja finalidade é o guiamento da comporta dentro das suas ranhuras (actualmente face a jusante da ranhura).

No topo da comporta existem duas válvulas de enchimento, com vedação. A estanquidade do tabuleiro é garantida por uma junta de borracha colocada na travessa de topo e nos montantes, bem assim como no cutelo da comporta.

4.2.2 Descrição das peças fixas

Estas são essencialmente constituídas pelas soleira (um perfil U embutido no betão), pelos montantes laterais e pela travessa frontal. Tanto os montantes como atravessa são chumbados no betão permitindo um perfeito guiamento da comporta assim como e deslizamento das vedações.

4.2.3 Guincho de manobra

Para que sejam possíveis as manobras destas comportas, um guincho eléctrico esta montado num monocarril com talha de cabos no respectivo carrinho de deslizamento de forma a que o seu movimento seja utilizado para ambas as comportas.

A ligação entre o gancho de suspensão do guincho e a comporta é efectuada através de uma garra tenaz.



Figura 17: Ilustração do guincho eléctrico de cabo e carinho, responsável pela movimentação das comportas.[12]

A obturação do orifício de saída do tubo de aspiração é feita com duas comportas ligadas entre si, de modo a formarem um único conjunto.

4.2.4 Princípio de Funcionamento do Guincho de Manobra

O Sistema actual para manobra das comportas a jusante da central depende essencialmente do guincho de manobra, na parte relacionada com o funcionamento, e muito semelhante ao existe nas comportas de tomada de agua da barragem (a montante). No que diz respeito a parte eléctrica, pode-se verificar no anexo 1 que existem dois motores assíncronos, um para o accionamento do processo de “elevação-descida” e outra para a translação do conjunto e com efeito faz parte dele um bloco de travão composto por um ventilador que garante a refrigeração do próprio travão e do motor, move-se no seu eixo com o eixo do motor e a função de travagem é activado imediatamente em casos de falhas de energia.

Para efectuar estas manobras, bem como qualquer das outras que se descreveu antes, é necessário, que o mecanismo esteja equipado por um motor com duas velocidade responsável pela manobra de subida e descida do guincho, este comando é feita através de um botoeiras pendentes no local.

4.2.5 Sistema de Controlo do Guincho de manobra

O controlo do guincho de manobra e o respectivo carrinho é geralmente efectuado através de Botoeiras Pendentes que envia sinais eléctricos a um painel de controlo com habitual sistema eléctrico por contactores permitindo os respectivos movimentos.

Esses movimentos são activados através dos seguintes botões da botoeiras pendentes:

- Botões de subida e descida para controlar o levantamento da Comporta (rápido e/ou lento)
- Botões direito e esquerdo para controlar o transito do carinho (rápido e/ou lento)

Os botões das funções subida e direita tem um símbolo preto sobre o fundo branco, enquanto os de descida e esquerda tem símbolo branco sobre o fundo preto. Iniciam a função quando são pressionados e os controlos das velocidades lentas auxiliares, de elevação e de transito, podem ser accionadas com botões separados com dois toques, o primeiro para comando da velocidade lenta, o segundo para comandar a rápida.

Para permitir o funcionamento do mecanismo é necessário destravar o botão de emergência, e dai é possível premir o botão de função permitindo o funcionamento do mecanismo.

Este sistema de elevação e translação das comportas controle possui buzina com função de sinalização sonora, limitadores de percurso, sistemas anticolisão, que estão previamente instaladas para garantirem a segurança durante a manobra da comporta. Este limitador é controlado pela acção de um tirante aplicado na ponte rolante ou no caminho de rolamento, que provoca a mudança de posição do limitador.

O conjunto geral do guincho das comportas e o quadro de comando são apresentados no anexo 1.

5 CAPITULO V: PROPOSTA DO SISTEMA DE CONTROLO REMOTO

5.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo é apresentada a solução escolhida para o problema identificado no primeiro capítulo, diagramas de blocos, desenho de circuitos de potência e comando e a programação do autómato que será usado no sistema proposto assim como da interface apresentado por uma IHM (Interface Homem Máquina).

5.2 Proposta do sistema

O sistema proposto para o controlo das comportas a jusante da central hidroeléctrica da Chicamba tem por objectivo accionar e controlar as comportas a jusante da central, possibilitando uma maior produtividade, flexibilidade e segurança operacional. Para possibilitar o accionamento e controle através do sistema proposto será necessário um mecanismo para cada comporta, diferentemente do sistema actual que conta com um único mecanismo para o accionamento de ambas as comportas o que significa que a função de deslocamento do mecanismo no monocarril será dispensável. O sistema conta com um conjunto de dispositivos sensores e actuadores, os quais estarão ligados a entrada e a saída do Controlador que permitira accionar e controlar a comporta através de uma interface amigável que ilustra em tempo real os eventos decorrente do accionamento da comporta.

Esta proposta apresenta o sistema de controle remoto para uma das comportas, podendo no momento de implementação ser implementada para a outra comporta, considerando que as duas comportas são independentes uma outra, porem com características técnicas semelhantes.

5.3 Descrição de funcionamento do sistema

O sistema é equipado com sensores de posição para monitoramento preciso dos movimentos. Na operação de subida e descida da comporta, é usado chaves de fim de curso do tipo rotativo acoplado aos eixos dos tambores do guincho, para indicar automaticamente quando a comporta atinge suas posições extremas (totalmente aberta ou fechada). o *encoder* no sistema controla e verifica a posição continua da comporta com maior precisão e possibilitando o controle de velocidade através de um inversor de frequênciia. O uso do *encoder* e do fim de curso gera uma estrutura de redundância.

A comporta normalmente encontram-se aberta portanto ao accionar o comando para o fecho da comporta uma saída digital do CLP envia um sinal digital para uma entrada digital do inversor de frequência, este sinal será responsável por dar a ordem de arranque do motor do guincho eléctrico o qual, de acordo com a parametrização feita, poderá ajustar em sua saída a velocidade de rotação do motor de acordo com a posição da comporta, e assim o guincho eléctrico desce e realiza o fecho da comporta. O inversor de frequência para além de controlar a velocidade, permitira a abertura das comportas, fazendo a inversão de marcha do motor do guincho.

Para garantir maior segurança no accionamento e controle da comporta o sistema de conta com freios electromecânicos. Quando a comporta estiver parada o freio permanecerá normalmente accionado, contudo quando o CLP enviar um sinal digital para uma entrada digital do inversor de frequência, e o inversor dar a ordem de arranque ao motor do guincho eléctrico para subir ou descer a comporta o freio imediatamente é destravado, permitindo o movimento do motor. Para garantir maior segurança durante as manobras, o sistema contará também com um módulo de Segurança para circuitos de paragem de emergência.

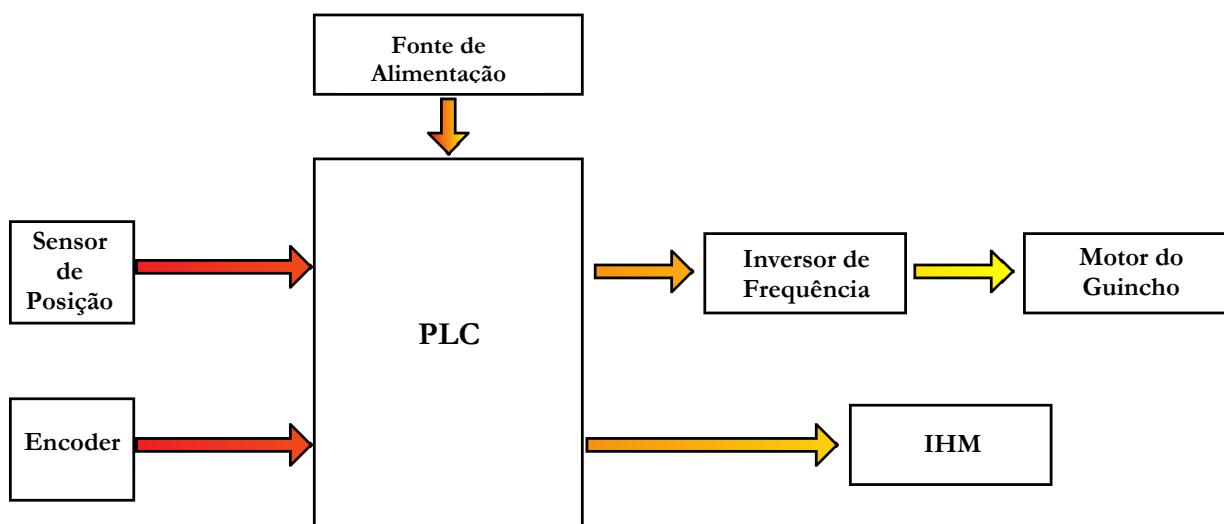


Figura 18: Digrama ilustrativo da interligação dos elementos do sistema proposto.

[Autor 2025]

5.4 Descrição dos componentes

O sistema de controle e accionamentos das comportas conta com alguns componentes indispensáveis para o seu correcto funcionamento, assim sendo os componentes que permitirão a automatização deste sistema são: Fonte de Alimentação, Sensores de posição (*Encoders* e Fins de cursos), Controlador Lógico Programável (CLP), Módulo IHM (Interface Homem Máquina), Inversor de Frequência e módulo de Segurança.

5.4.1 Descrição do PLC

Devido ao fato de que a maior parte do sistema de controle da central ser composta por equipamentos Siemens, este projecto adoptará também ferramentas de automação da mesma marca. Selecção do PLC

A Siemens fornece duas séries de PLCs com sua linha Simatic que, em ordem crescente de custo, desempenho e funções, se agrupam da seguinte maneira: Série Simatic S7-1200 e Simatic S7-1500.

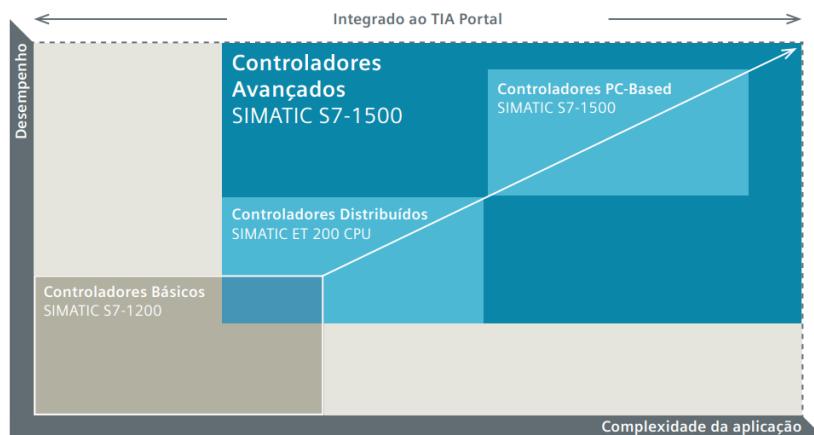


Figura 19: Controladores distribuídos pelo desempenho e complexidade de aplicação

[13]

A serie *SIMATIC S7-1200* é uma linha de controladores lógicos programáveis (CLPs) que podem controlar uma variedade de aplicações de automação. Possui um solução compacta, baixo custo e um poderoso conjunto de instruções. Os modelos S7-1200 é a ferramenta de programação baseada em *Windows* oferecem a flexibilidade necessária para resolver vários problemas de automação.

Dado que as aplicações do projecto é de pequeno porte, e considerando que para o controlo remoto das comportas será suficiente criar lógicas simples, a série mais indicada é *SIMATIC S7-1200* que oferece aplicações completas e que foi projectada com recursos eficientes de controlo remoto para os equipamentos conectados aos PLCs da série. Além disso, essa escolha também foi feita levando em consideração a necessidade de agregar futuramente mais funções ou aprimorar o sistema de controlo projectado neste trabalho.

5.4.2 Módulo Controlador Lógico Programável (PLC S7-1200)

É um dispositivo electrónico que pode controlar máquinas e processos e utiliza uma memória programável para armazenar instruções e executar funções específicas como controle de energização/desenergização, temporização, contagem, sequenciamento, operações matemáticas e manipulações de dados. As especificações técnicas deste PLC são encontradas na tabela 9 e no anexo 3.

5.4.3 Fonte de Alimentação

A alimentação da CPU e dos demais módulos que compõem o diagrama apresentado para o projecto serão alimentadas por tensões Continuas de 24 VDC e 110 VDC. A fonte do Controlador Lógico Programável (PLC), vai ser alimentada a 220V AC que por meio do bloco rectificador será convertida em 24V DC para alimentar a CPU e saídas do Controlador. O inversor de frequência será alimentado a 380V AC, e por sua vez alimentara seu respectivo Motor.

5.4.4 Sensores de Posição

Para indicar o estado das comportas o sistema contará com sensores de posição (Fim de curso Rotativos), que irá indicar o estado da comporta (aberta ou fechada). As especificações técnicas bem como ilustração do Fim de Curso Rotativo usada neste projecto são apresentadas no anexo 4.

5.4.5 Encoder

O *Encoder* converte movimento rotativo (ou linear) em sinais eléctricos digitais, permitira determinar a posição, da comporta em movimento. As especificações técnica do encoder são apresentadas na tabela 9 e no anexo 6.

5.4.6 Módulo IHM (Interface Homem Máquina)

A interface Homem-máquina (IHM) tem um papel fundamental no sistema, actuado como o ponto de iteração entre o operador humano e o sistema automatizado. A especificação técnica da IHM esta apresentada na tabela e no anexo 5.

5.4.7 Inversor de Frequência

Um Inversor de Frequência tem como uma das principais funções controlar a velocidade de rotação de um motor por meio do controle da frequência entregue pela rede eléctrica e também permite controlar outros parâmetros de funcionamento de um motor.

Duas saídas digitais do PLC irão enviar dois sinais digitais para duas entradas digitais do inversor de frequência, estes sinais serão responsáveis por dar a ordem de arranque do Inversor de Frequência em dois sentidos directo e reverso permitindo a abertura e o fecho da comporta ou qual, de acordo com a parametrização a ser feita, poderá também ajustar em sua saída a velocidade de abertura da comporta de acordo com a posição na qual a comporta se encontra.

5.4.8 Módulo de segurança e paragem de emergência

Estes módulos são usadas em todas máquinas potencialmente perigosas que requerem protecção tanto para o operador como para máquinas. A tecnologia baseada em microprocessador com os princípios de redundância irá garantir maior segurança durante o accionamento das Comportas. No anexo 8 é apresentado a especificação técnica deste modulo

5.5 Circuitos de Potência

No apêndice 2 apresenta-se o esquema de ligação do Freio, e do Motor ao inversor e a rede. Pelo esquema apresentado é possível verificar-se que os terminais de entrada do inversor de frequência estão ligados a uma rede trifásica, e os bornes ou terminais de saída são ligados ao motor a ser accionado, ou seja se fazem coincidir as saídas R S T do inversor de frequência a entrada U V W do Motor. É apresentada também o esquema de conexão do Freio ao motor que é também alimentada a uma rede trifásica.

5.6 Apresentação do programa de automação proposto

A parte lógica do sistema será desenvolvida utilizando o *software* da Siemens TIA PORTAL versão 17. O portal de automação totalmente integrado (TIA Portal) permite acesso total a toda a automação digital, desde o planeamento digital e engenharia integrada até a operação transparente. Como parte do pacote de software empresarial digital, ele é combinado com PLM (*Product Lifecycle Management*) e MES (*Manufacturing Execution System*) para concluir o processo da Siemens de mudança para a Indústria 4.0, fornecendo serviços abrangentes para empresas e tornando-o uma maneira perfeita para automatizar empresas digitais (Siemens, 2017).

O programa permite desenvolver programas de automação nas seguintes linguagens: *Ladder*, *Function Block*, *Standard Template Library* e *Structured Text*. Abaixo mostra-se as tabelas relativas as variáveis do sistema, as portas associadas a cada uma e suas descrições seguindo o programa em ladder.

5.6.1 Variáveis do Sistema e sua descrição

A seguir são apresentadas as principais variáveis utilizadas no sistema de controle desenvolvido, com a respectiva descrição da sua função no processo. Essas variáveis formam a base da lógica de controle e automação através delas o CLP consegue tomar decisões automáticas com base em condições do processo.

5.6.1.1 Entradas e saídas do PLC

Nos apêndices 5 e 6 se apresenta o esquema de ligação das entradas e saídas ao PLC. Nota-se através do esquema que a fonte de alimentação (220V AC/ 24V DC) é responsável por alimentar o PLC e os diferentes módulos ao qual ele esteja ligado.

A tabela abaixo ilustra de forma detalhada as variáveis de entradas e as entrada as quais estão conectadas, assim como as variáveis de saída e as respectivas saídas as quais estão conectadas no controlador (Lista I/O).

Tabela 4.1: variáveis de entrada conectadas ao Controlador Lógico Programável

Tipo de Variável	Porta	Elemento	Descrição
Entrada	Digital	<i>DI0.0</i>	Canal A do Encoder
		<i>DI0.1</i>	Canal B do Encoder
		<i>DI0.2</i>	Botão de Emergência
		<i>DI0.3</i>	Botão de reinicialização (RESET)
		<i>DI0.4</i>	Chave Selectora
		<i>DI0.5</i>	Chave selectora
		<i>DI0.6</i>	Botão de Pressão com retenção
		<i>DI0.7</i>	Disjuntor do Motor

Figura 4.2: variáveis de entrada conectadas ao Controlador Lógico Programável

Tipo de Variável	Porta	Elemento	Descrição
Entrada	Digital	<i>DI1.0</i>	Disjuntor do Freio Envia um sinal digital a entrada (DI1.0) do CLP quando a protecção do Freio acciona
		<i>DI1.1</i>	Fim de Curso 1, a qual envia sinal digital a entrada (DI1.1) do CLP quando a Comporta estiver Aberta
		<i>DI1.2</i>	Fim de Curso 1, a qual envia sinal digital a entrada (DI1.2) do CLP quando a Comporta estiver Fechada
		<i>DI1.3</i>	Botão Abrir Quando Pressionada envia um sinal digital a entrada (DI1.3) do CLP, dando ordem abertura da comporta
		<i>DI1.4</i>	Botão Fechar Quando Pressionada envia um sinal digital a entrada (DI1.4) do CLP, dando ordem Fecho da comporta
		<i>DI1.5</i>	Inversor de Frequência Envia um sinal digital a entrada (DI1.5) do CLP quando ocorre falhas no Inversor de Frequência

[Fonte: Autor]

A tabela 5 a seguir apresenta de forma detalhada as variáveis de saída e as saídas (portas) as quais estão conectadas no controlador (PLC).

Tabela 5.1: variáveis de saída conectadas ao Controlador Lógico Programável .

Tipo de Variável	Porta	Elemento	Descrição
Saída	Digital	Q0.0	Lâmpada de Sinalização
		Q0.1	Lâmpada de Sinalização
		Q0.2	Lâmpada de Sinalização
		Q0.3	Lâmpada de Sinalização
		Q0.4	Lâmpada de Sinalização e Sirene
		Q0.5	Lâmpada de Sinalização
		Q0.6	Lâmpada de Sinalização
		Q0.7	Inversor de Frequência

Figura 5.2: variáveis de saída conectadas ao Controlador Lógico programável

Tipo de Variável	Porta	Elemento	Descrição
Saída	Digital	Q1.0	Inversor de Frequência Entrada digital (2) do Inversor de Frequência de controlo do motor, esta entrada é activada quando a saída (Q1.0) do PLC for activada. Fazendo com que o motor arranque no sentido reverso de rotação
		Q1.1	Inversor de Frequência Entrada digital (3) do variador de frequência de controlo do motor, esta entrada é activada a saída (Q1.1) do PLC for activada. Faz com que o motor seja accionada a velocidade Baixa (para frequência de 30 Hz).

[Fonte: Autor]

5.6.1.2 Controlo e comunicação do Inversor de frequência

A tabela 6 ilustra o detalhamento das variáveis de entrada e saída ao Inversor de frequência:

Tabela 6: Detalhamento das variáveis de entrada no Variador de Frequência.

[Fonte: Autor]

Ordem da entrada	Designação	Descrição
1º	LI1	Entrada digital 1 do inversor de frequência para o controlo do motor, quando recebe um sinal proveniente do PLC acciona o motor para rodar no sentido directo
2º	LI2	Entrada digital 2 do inversor de frequência para o controlo do Motor, quando recebe um sinal proveniente do PLC acciona o motor para rodar no sentido reverso.
3º	LI3	Entrada digital 3 do inversor de frequência para o controlo da velocidade do Motor, quando recebe um sinal proveniente do PLC selecciona uma segunda velocidade para o motor, previamente definida no inversor.

5.6.2 Elaboração de circuitos do PLC

Os circuitos do PLC foram desenvolvidos em Ladder. Devido às diferentes funções das variáveis envolvidas, os circuitos estão divididos em 6 secções (Network), onde foram desenvolvidos os programas. Na Tabela 7, faz-se a apresentação da lista de definição das ligações dos diversos sensores e entradas existentes no sistema.

Tabela 7: Lista de definição das entradas do sistema proposto.

[Autor 2025]

PLC tags	Name	Data type	Address	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Supervision	Comment
■	I_PARAGEM DE EMERGÊNCIA	Bool	%I0.2	False	True	True	True		Botão de Paragem de Emergência
■	I_RESET_FALHAS	Bool	%I0.3	False	True	True	True		Botão de reset das falhas
■	I_LOCAL	Bool	%I0.4	False	True	True	True		Coloca o sistema no Modo local
■	I_Remoto	Bool	%I0.5	False	True	True	True		Coloca o Sistema no Modo Remoto
■	I_MANUTENÇÃO	Bool	%I0.6	False	True	True	True		Coloca o Sistema no Modo Manutenção
■	I_PROTEC_MOTOR	Bool	%I0.7	False	True	True	True		Contacto de Proteção do Motor
■	I_FREIO_MOTOR	Bool	%I1.0	False	True	True	True		Contacto de Freio do Motor
■	I_FC1	Bool	%I1.1	False	True	True	True		Fim de curso que indica Comporta Aberta
■	I_FC2	Bool	%I1.2	False	True	True	True		Fim de curso que indica Comporta Fechada
■	I_COM_FECHO	Bool	%I1.3	False	True	True	True		Da ordem de fecho da comporta
■	I_COM_ABERT	Bool	%I1.4	False	True	True	True		Da ordem de abertura da Comporta
■	I_F_INVERSOR	Bool	%I1.5	False	True	True	True		Falha no Inversor

As saídas do controlador lógico programável nas quais estão ligadas aos actuadores apresentam-se na Tabela 8.

Tabela 8: Lista de definição das saídas do sistema proposto.

[Autor 2025]

PLC tags	Name	Data type	Address	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Writable from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Supervision	Comment
■	Q_LOCAL	Bool	%Q0.0	False	True	True	True		Sinaliza e coloca o Sistema no Modo local
■	Q_Remoto	Bool	%Q0.1	False	True	True	True		Sinaliza e coloca o Sistema no Modo Remoto
■	Q_Manutenção	Bool	%Q0.2	False	True	True	True		Sinaliza e coloca o sistema no Modo Manutenção
■	Q_P_EMERGÊNCIA	Bool	%Q0.3	False	True	True	True		Sinaliza e Força a paragem do Motor
■	Q_FAL_MOTOR	Bool	%Q0.4	False	True	True	True		Sinaliza a Falha no Motor
■	Q_COMP_ABERTA	Bool	%Q0.5	False	True	True	True		Indica que a Comporta esta aberta
■	Q_COMP_FECHADA	Bool	%Q0.6	False	True	True	True		Indica que a Comporta esta fechada
■	Q_ABIR	Bool	%Q0.7	False	True	True	True		Acciona o motor para abrir a Comporta
■	Q_FECHAR	Bool	%Q1.0	False	True	True	True		Acciona o motor para fechar a Comporta
■	Set Point Atingido	Bool	%M1.4	False	True	True	True		Indica que o Setpoint foi atingido
■	Q_AUX	Bool	%M1.5	False	True	True	True		Saida Auxiliar
■	Q_TROCA_VEL	Bool	%Q1.1	False	True	True	True		Permite o Controle de Velocidade
■	Status do Motor	Bool	%M1.6	False	True	True	True		Indica o Status que o motor se encontra

Considerando a descrição de funcionamento do sistema proposto, e atendendo a planta da central da chicamba. apresenta-se o bloco Main [OB1] (*Organizational Block 1*) no anexo 2. onde, encontra-se toda a lógica principal do sistema proposto, neste bloco a CPU executa todas as instruções do controle. As secções do programa principal (Network) é onde contém os trechos do programa principal, funciona como páginas ou linhas de raciocínio dentro do mesmo programa. Abaixo encontra-se as secções do programa e a logica proposta.

I. Network 1: Modo de Operação da Comporta

Nesta primeira seção esta apresentada um trecho do programa, com a função de determinar o modo de operação do sistema. A comporta pode operar nos seguintes modos:

- **Modo Local:** Neste modo o controle e accionamento da comporta é feita no local;
- **Modo Remoto:** Neste modo o controle e accionamento da comporta é feita a distância ;
- **Modo Manutenção:** Este modo permite que os operadores ou técnicos realizem qualquer tipo de manutenção no sistema da comporta.

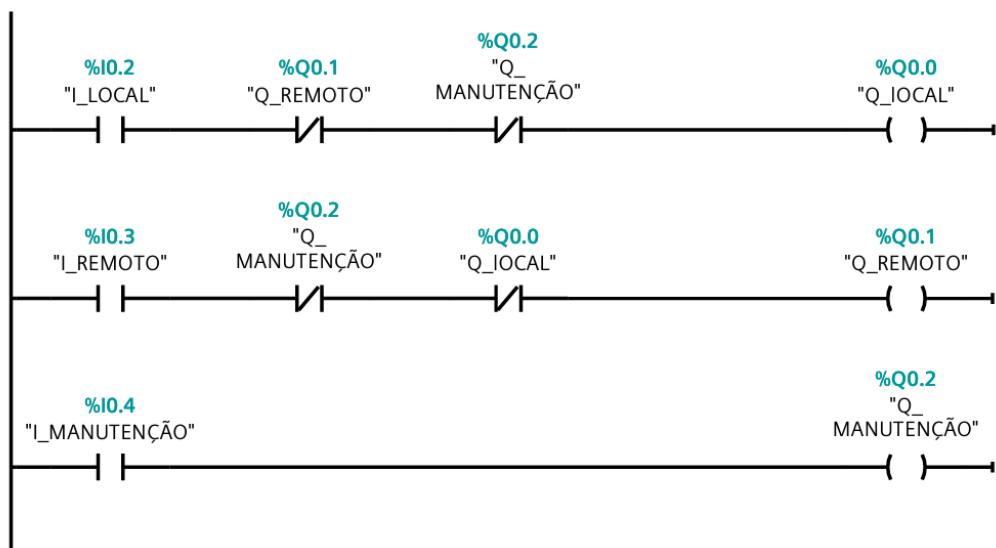


Figura 20: Captura de tela da primeira seção do programa desenvolvido, Modo de Operação da Comporta.

[Autor 2025]

II. Network 2: Falhas no Motor e no inversor de Frequência

Nesta seção contém o trecho do programa que possibilita a paragem de emergência do motor, força a parada do motor quando ocorre uma falha no motor, no freio e no inversor de frequência sinalizando imediatamente que ocorreu uma falha num destes equipamento. Para repor o sistema após a ocorrência das falhas, ou após forçar a parada do motor através do botão de emergência será necessário fazer o reinicialização (reset) das falhas possibilitando assim a operação normal da comporta.

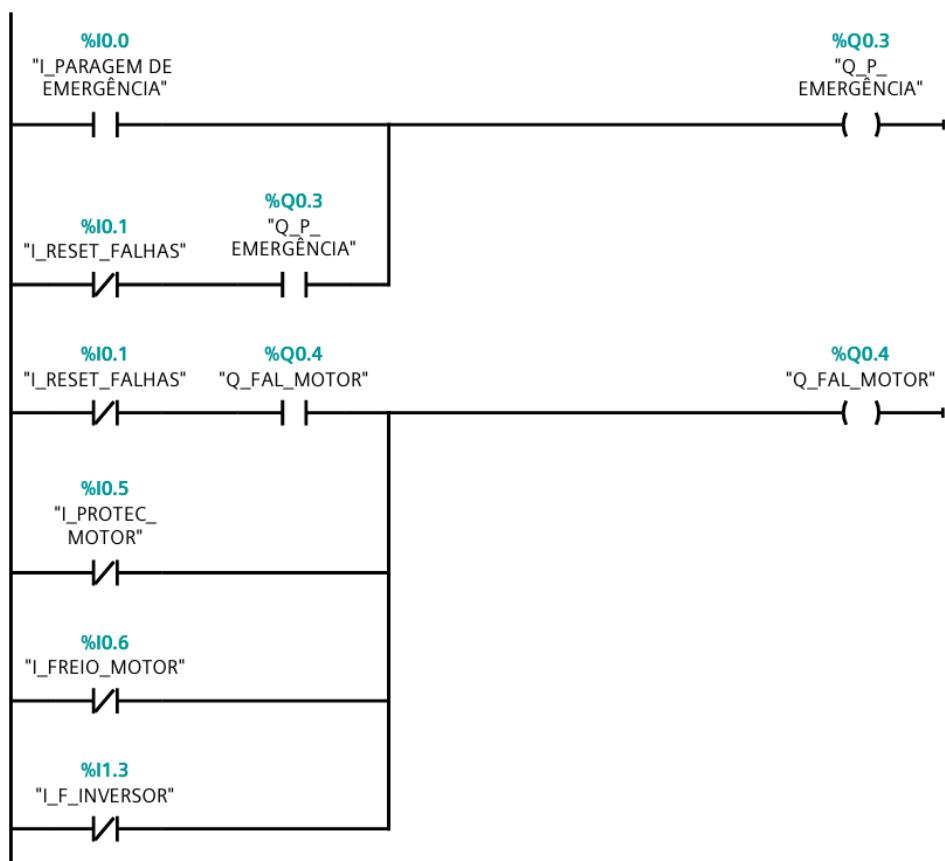


Figura 21: Captura de tela da Segunda Secção do programa desenvolvido.

[Autor 2025]

III. Network 3: Leitura do Encoder

Para a leitura e codificação dos pulso gerado pelo Encoder é necessário selecionar o contador de alta velocidade (*HSC1*) do PLC que possibilitam a contagem rápida dos pulso do encoder através das entradas digitais rápidas I0.0 e I0.1.

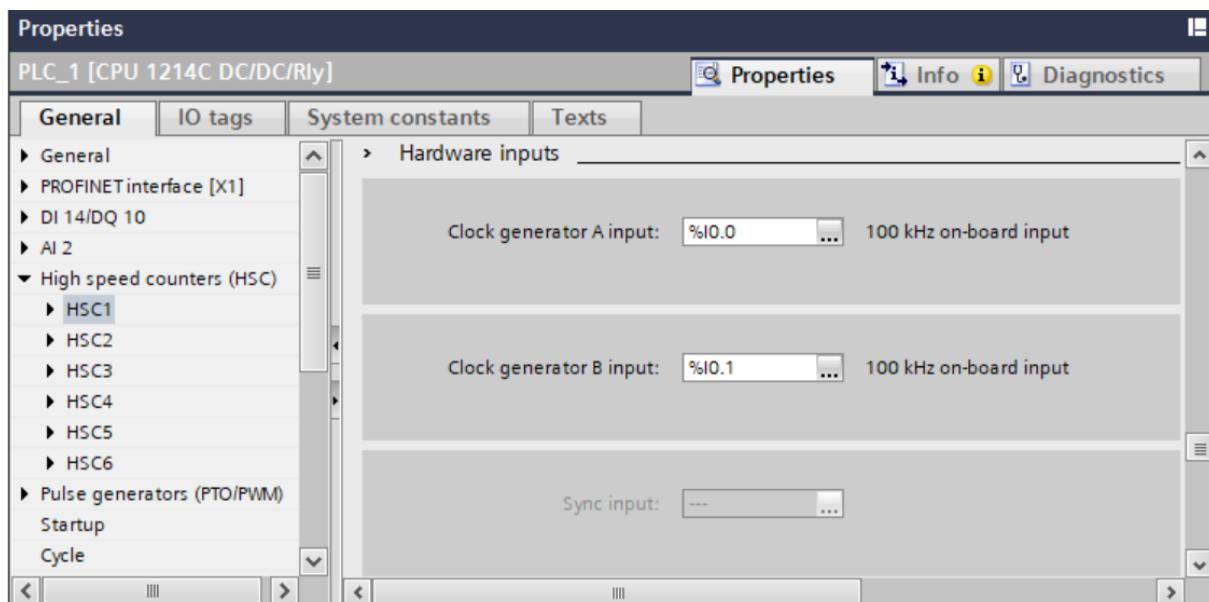


Figura 22: Ilustração das entradas digitais de contagem rápida do PLC.

[Autor 2025]

O valor da leitura do encoder é armazenado na memoria ID1000 através da instrução MOV move-se o valor para a memoria MD1000 e através da instrução CONV converte-se o valor de Inteiro (INT) para Real possibilitando melhor visualização e tratamento de valores com casa decimais no programa. Apos a conversão o valor é armazenado na memoria MD20.

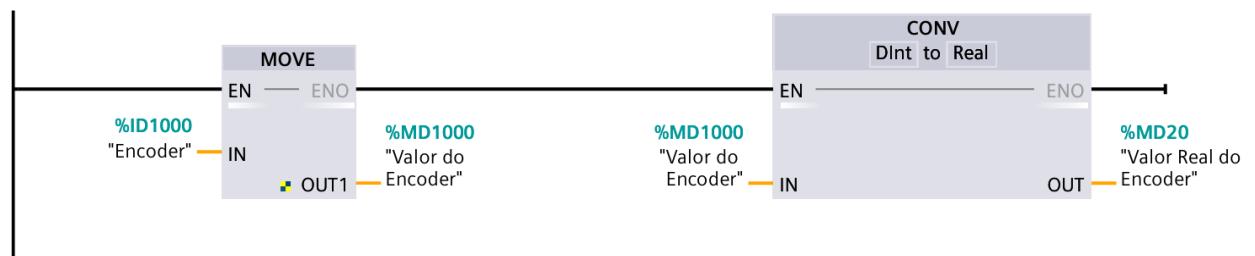


Figura 23: Ilustração da processo de leitura do Encoder.

[Autor 2025]

IV. Network 4: Deslocamento da Comporta

A instrução DIV neste trecho do programa permite a determinação da precisão do encoder dividindo o deslocamento linear da comporta pelo numero de pulsos gerado pelo encoder numa volta completa, e o valor é armazenado em MD30. Para obter a leitura do deslocamento da comporta, a instrução MUL multiplica o valor da leitura do encoder armazenado em MD20 e o valor da precisão em MD30.

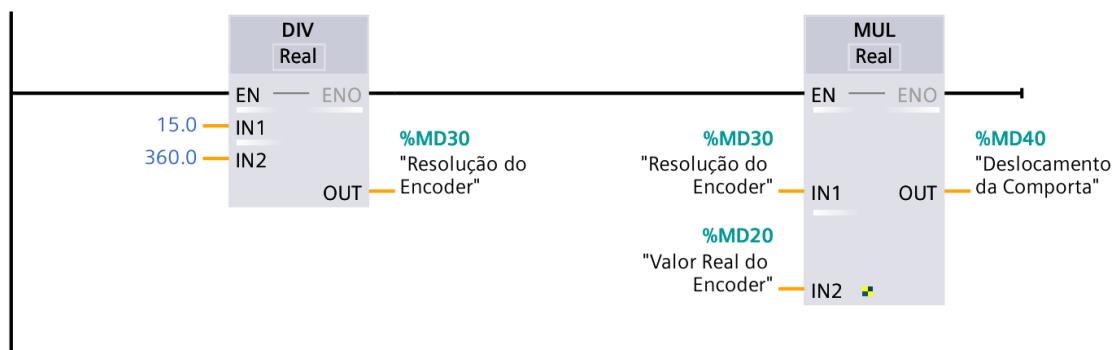


Figura 24: Ilustração das instruções usadas para determinar o deslocamento da Comporta.

[Autor 2025]

V. Network 5: Mudança de Velocidade

Esta secção explica-se como ocorre a mudança de velocidade do motor. De modo a possibilitar a mudança de velocidade do accionamento da comporta este sistema possui um ponto de ajuste que permite a mudança da velocidade para uma velocidade desejada. No processo de abertura e fechamento da Comporta, o deslocamento da comporta torna-se maior ou igual ao ponto de ajuste (*Set Point*) estabelecido e neste momento a entrada digital (3) do Inversor de frequência é ligada e de acordo com a parametrização feita no Inversor frequência o motor trocar a sua velocidade de rotação.

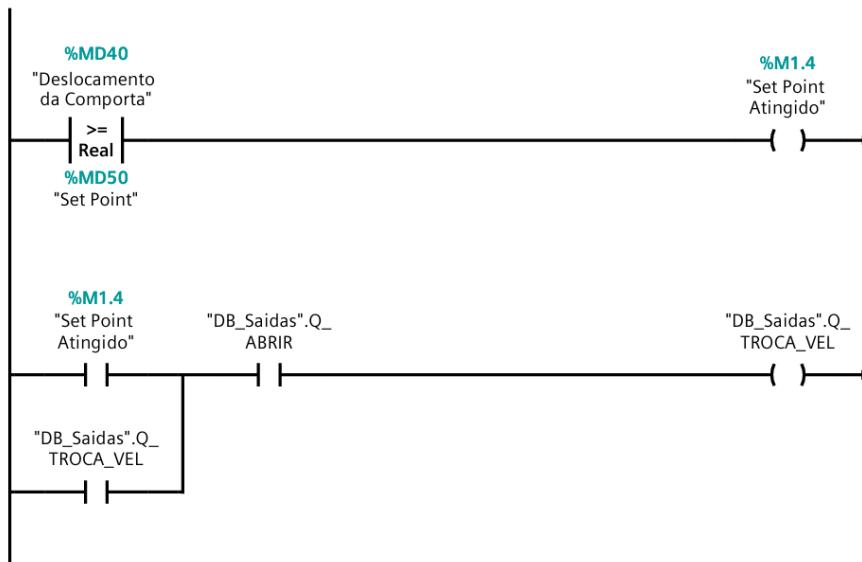


Figura 25: Ilustração do processo de troca de velocidade do motor.

[Autor 2025]

VI. Operação dos Sensores de Posição

Nesta secção os sensores de posição "Fim de Curso" Permitem o paragem da comporta e indicando o estado da comporta: "Comporta aberta " ou " Comporta Fechada ". Quando a Comporta estiver Aberta ou fechada o Sensor é accionado e envia um sinal digital a entrada do CLP.

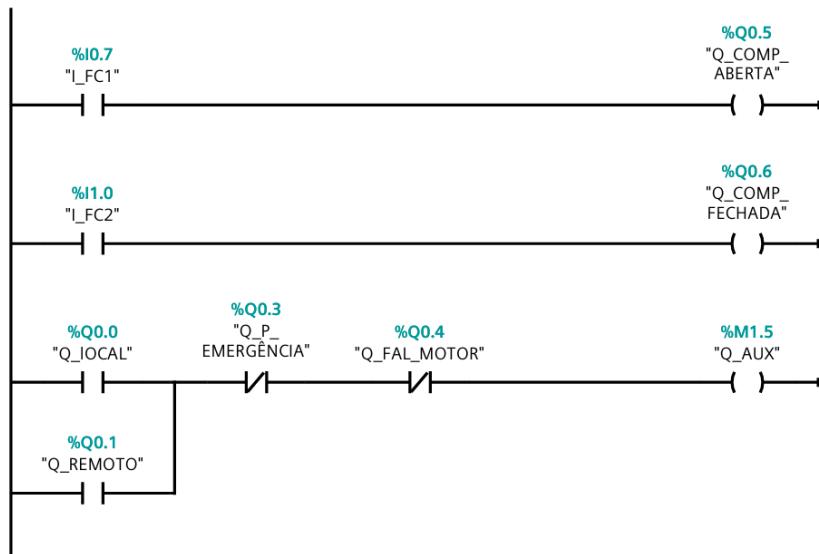


Figura 26: Ilustração da Operação dos sensores de posição.

[Autor 2025]

VII. Manobra de Abertura e Fecho da Comporta

Esta secção apresenta a lógica para a abertura e fecho da Comporta. Quando os comandos para “Abrir” ou “Fecho” forem dadas, serão enviados sinais ao controlador para permitir a abertura ou o fechamento conforme a logica apresentada abaixo.

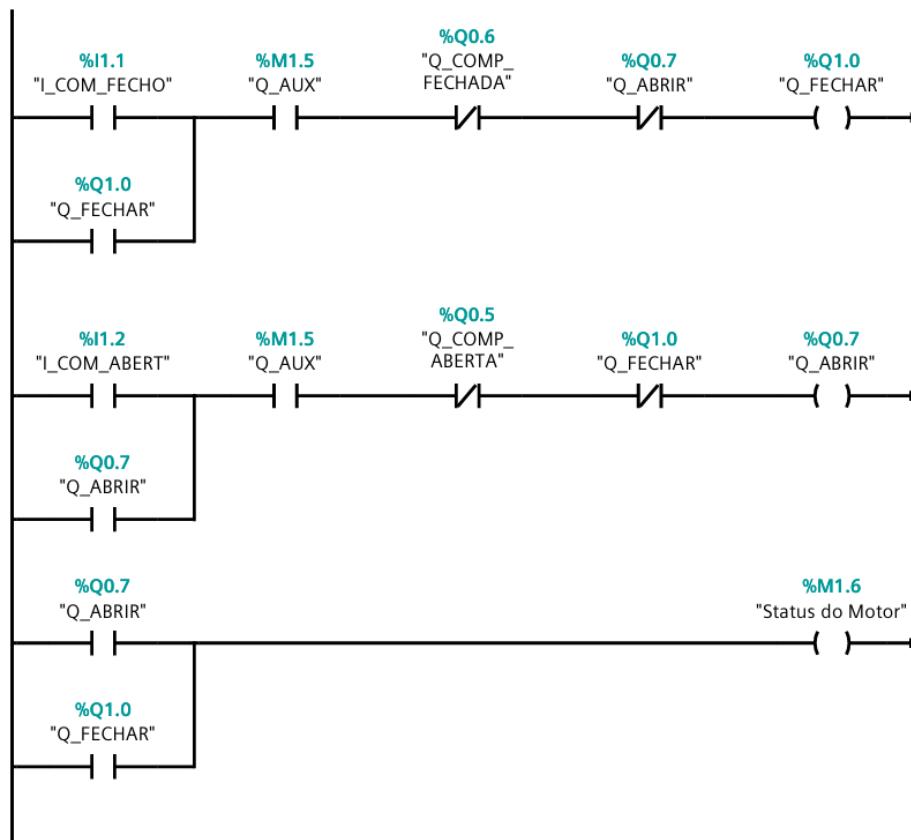


Figura 27: Ilustração da logica para a abertura e fecho da Comporta.

[Autor 2025]

5.6.3 Programação da IHM (Interface Homem Maquina)

Nesta etapa apresenta-se a Interface Homem Maquina desenvolvida para o projecto. Através das *HMI TP700 Comfort* é possível visualizar o andamento e estado de todas as variáveis da Comporta, ou seja, o estado do motor da guincho, e o monitoramento de falhas. Para este acompanhamento foi desenvolvida uma tela (*Screen*) com todos os status mencionados anteriormente no *WinCC Professional*. A primeira página desenvolvida da IHM, apresenta os dados iniciais de inicialização dela, dentre eles: O

nome da Empresa, lugar a que destina a IHM, e por fim os dados referentes a data e hora de visualização.

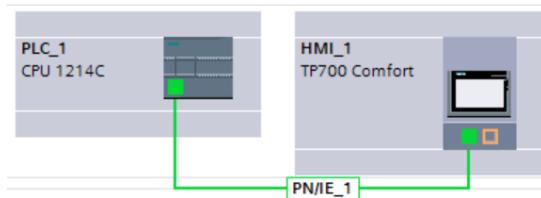


Figura 28: Conexão entre a CPU S7-1200 e a IHM.

[Autor 2025]

Na tela inicial, o usuário tem a possibilidade de aceder ao Menu Principal, onde poderá ter acesso aos estado de todo o sistema: os sensores e actuadores do sistema, bem como poderá controlar e accionar a comporta.

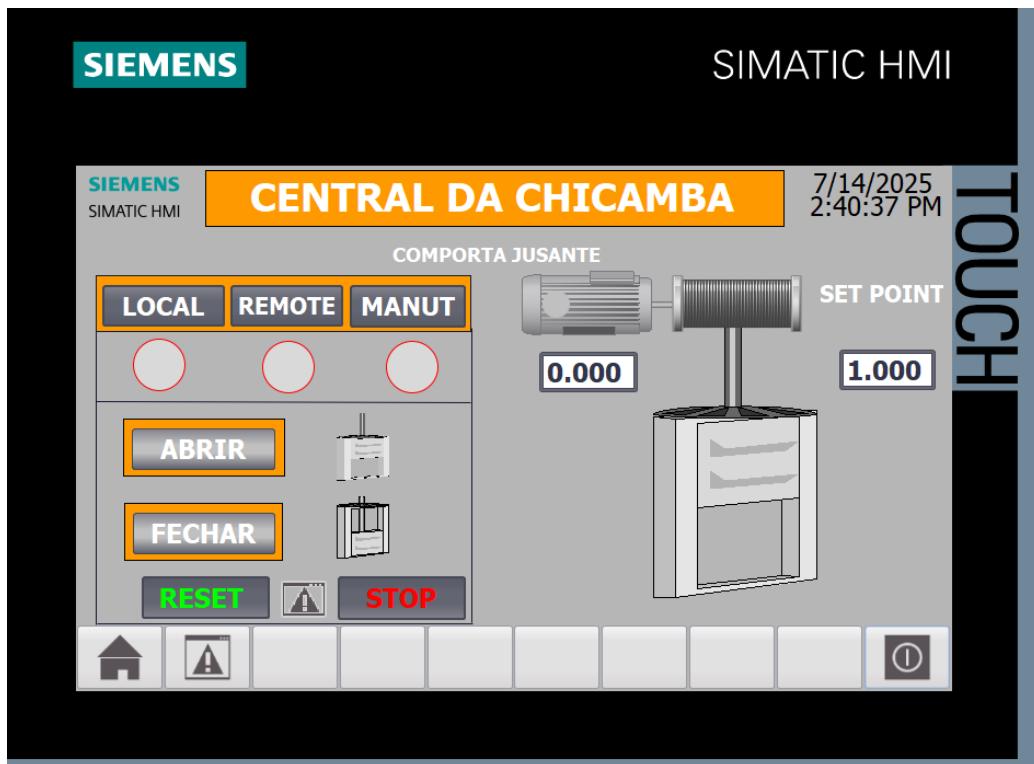


Figura 29: Ecrã principal da IHM desenvolvida para o projeto.

[Autor 2025]

5.6.3.1 Modo de operação da IHM

A IHM possui dois modos de operação, o primeiro e o modo de desenvolvimento onde envolve a criação de telas gráficas e animações representativas do processo, e o segundo é o modo *Runtime* onde a IHM exibe uma janela animada que mostra em tempo real do andamento do processo. A figura 30 ilustra esta a tela da IHM no modo *Runtime*.

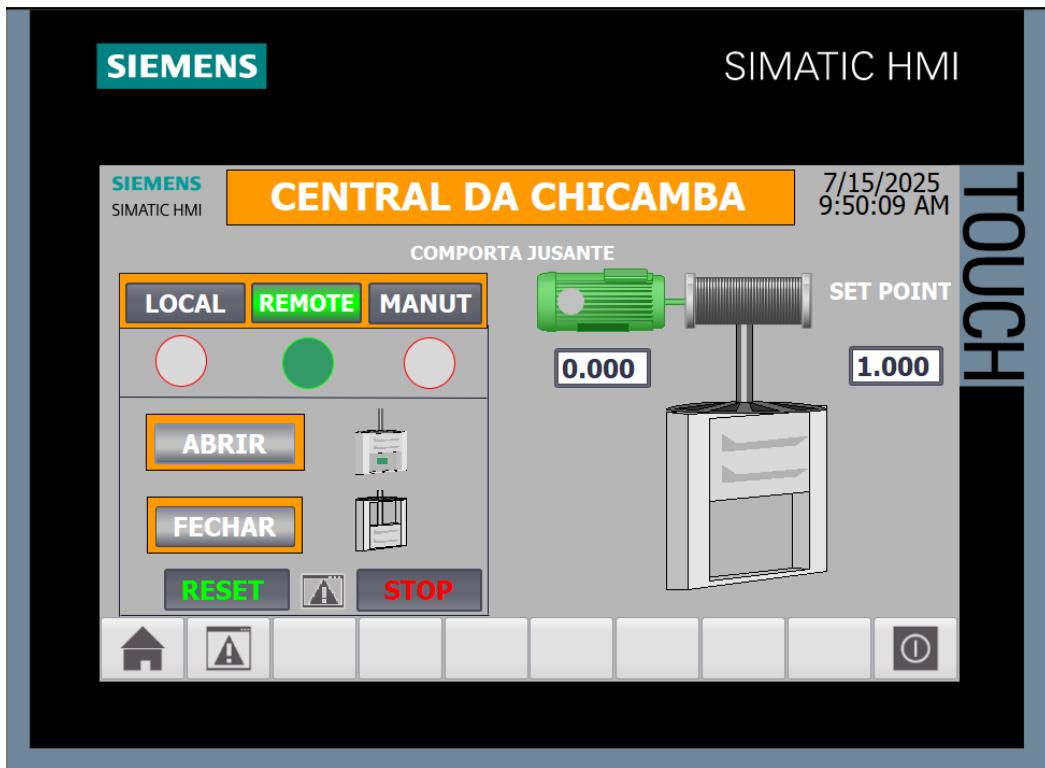


Figura 30: Ecrã principal da IHM no modo runtime.

[Autor 2025]

O sistema bem como a IHM foram projectadas para controlar uma comporta apenas, contudo poderá ser empregue na outra comporta, por estas possuírem características construtivas e técnicas semelhantes, que permite o uso da mesma lógica de controle, interfaces de operação e estrutura de programação.

6 CAPÍTULO VI: ESTIMATIVA DE CUSTO E ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA

6.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo é apresentado a estimativa de custo e a especificação técnica do projecto. O sistema foi projectado para controlar uma comportas, contudo poderá ser empregue na outra comporta, por estas possuírem características construtivas e técnicas semelhantes. Desta forma na tabela 9 esta apresentada a especificação técnica e o custo total de implementação do sistema nas duas comportas.

Tabela 9.1: Especificação técnica e estimativa do custo de aquisição dos componentes necessários para implementação da proposta do Projecto.

Item	Categoría	Etiqueta	Material	Especificações Técnicas	Fabricante	Unidade	QNT	Preço Unitário (MZN)	Preço Total (MZN)
1	Controlador	A1	Inversor de Frequência	Modelo: ATV71 Potência: 11kW Tensão: 380...480V Frequência: 50-60hz	Schneider	un	1	32.980,00	32.980,00
2		A2	CLP	Modelo: SIMATIC S7-1200 CPU: 1214C DC/DC/Relay Tensão: 24 V CC Corrente: 500mA	Siemens	un	1	25.600,00	25.600,00
3	Comunicação	-	IHM	Modelo: TP700 Comfort (7") Tensão: 24V CC Corrente: 230 mA		un	1	55.360,00	55.360,00
4	Sensores	FC1 e FC2	Fim de Curso rotativo	Modelo: SC-196 Tensão: 24V CC Corrente: 4A	Eletrosil	un	2	9.870,00	19.740,00
		-		Modelo: E-30 Sinal de saída: Push-Pull Tensão: 5 a 28V CC Corrente: A, B, Z = 20mA	S&E Instrumentos	un	1	7.980,00	7.980,00

Figura 9.2: Especificação técnica e estimativa do custo de aquisição dos componentes necessários para implementação da proposta do Projecto

5			Encoder incremental	Frequência de resposta: (80kHz=80000pulsos/segundo) Límite de velocidade: 6000 RPM					
6	Actuadores	H4	Sirene	Modelo: HW36 Tensão: 110V CC Corrente: 300 mA	Minilec	un	1	5.200,00	5.200,00
7		–	Sinalizador luminoso	Tensão: 20 V CC Corrente: ≤20 mA	Botric	un	8	75	600,00
8		H8	Buzina de Sinalização	Modelo: KB70-3001 Tensão: 24V CC	ABB	un	1	8.409,28	8.10,00
9		U1	Fonte de alimentação 220/24V	Tensão de entrada: 240V CA Tensão de Saída: 24V CC Corrente de saída: 0,625 A Potencia nominal: 15 W	Scheider	un	1	7.187,33	7.188,00
10		U2	Fonte de alimentação 220/110V	Tensão de entrada: 230V CA Tensão de Saída: 110V CC Corrente de saída da Fonte: 6A	Lorene	un	1	4.990,00	4.990,00
11		S2; S5 e S6	Botoeira de pressão sem retenção	Modelo: XB4BA31	Schneider	un	3	1.310,00	3.930,00
12	Comando	S4	Botoeira de pressão com retenção	Modelo: XA2EH051	Schneider	un	1	998,00	998,00
13		S1	Botoeiras de Emergência	Modelo: XB5AS8444	Schneider	un	1	1.490,00	1.490,00
14		S3	Chave selectora	Modelo: XB5AK124B5	Schneider	un	1	2.585,00	2.585,00
15	Quadro Eléctrico	–	Quadro Eléctrico	Dimensões: (1200x600x300 mm)	BSE Painéis	un	1	11.225,00	11.225,00
16		L1	Reactor de entrada	Modelo: VW3A4555 Indutância: 0.5 mH Corrente nominal: 60 A Tensão de utilização: 380 V AC Potência térmica: 41 W	Schneider	un	1	67.107,95	67.108,00
		L2		Modelo: VW3A5102 Indutância: 1.5 mH Corrente nominal: 48 A	Schneider	un	1	12.358,63	12.360,00

Figura 9.3: Especificação técnica e estimativa do custo de aquisição dos componentes necessários para implementação da proposta do Projecto

17			Reactor de saída	Tensão de utilização: 380 V AC Potência térmica: 28 W					
18	Manobra/Protecção	Q1	Disjuntor Bipolar	Calibre: 2A Curva: C Tensão: 230/400 V Poder de corte: 25 kA	Schneider	un	1	6.064,89	6.065,00
19		Q2	Disjuntor Motor	Calibre: 40A Tensão: 415V Poder de Corte: 18,5 kA Categoria: AC3	Schneider	un	1	19.802,93	19.803,00
20		Q3	Disjuntor Bipolar	Calibre: 4A Curva: D Tensão: 440V AC /133V CC Poder de corte: 25 kA/6kA	Schneider	un	1	5.908,00	5.908,00
21		Q7	Disjuntor Bipolar	Calibre: 10A Curva: D Tensão: 440v AC /133vCC Poder de corte: 25 kA/6KA	Schneider	un	1	6.032,00	6.032,00
22		Q4 e Q6	Disjuntor de Corrente CC	Calibre: 3A Tensão: 500 V CC	Schneider	un	2	12.130,00	24.260,00
23		ITG1	TeSys porta-fusível 3P	Calibre: 125 A Dimensões: 22 x 58 mm Tipo: 0...125 A, aM	Telemecanique	un	1	4.606,71	4.606,71
24		B1	Módulos de Segurança	Modelo: XPSA	Schneider	un	1	18.632,39	18 632,39
25	Fiação	Condutor flexível de Cobre		Condutor Azul 0,75 mm ²	Yiten Cable Technology	m	10	72,30	723,00
26				Condutor preto 0,75mm ²		m	10	72,30	723,00
27				Condutor Verde Amarelo 2,5 mm ²		m	50	78,73	3.936,50
28				Condutor flexível Vermelho (2,5 mm ²)		m	50	78,73	3.936,50
29				Condutor flexível Preto (2,5 mm ²)		m	50	78,73	3.936,50
30				Condutor flexível Azul (2,5 mm ²)		m	50	78,73	3.936,50

Figura 9.4: Especificação técnica e estimativa do custo de aquisição dos componentes necessários para implementação da proposta do Projecto

31	Acessório de instalação Eléctrica	–	Calha Recartilhada	Dimensões: (40x60 mm)	Legrand	un	2	533,99	1.067,98	
32		–	Trilho DIM	Dimensão: (35 mm)	Sibratec	un	4	302,00	1.208,00	
33		–	Tomada 16A	2P+T Tipo Shuko Tensão: 250 V Corrente: 16 A	Legrand	un	1	224,68	224,68	
Custo Total								372.745,00		
Custo total do Sistema nas duas Comportas								745.490,00		

[Autor 2025]

Após realizar a especificação técnica do projecto estima-se para o projecto do sistema de controle para as duas (2) comportas a jusante da central da Chicamba um custo total de **745.490,00MZN**.

7 CAPÍTULO VII: CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 Conclusão

Este projecto foi desenvolvido com o objectivo principal desenvolver um sistema de controlo remoto para as comportas a jusante da barragem da Central Hidroeléctrica da Chicamba

O desenvolvimento de um sistema de controlo remoto para as comportas a jusante da barragem da Central Hidroeléctrica da Chicamba representa um avanço significativo na modernização das operações da central. A proposta apresentada demonstra ser tecnicamente viável, segura e eficaz, ao integrar sensores, encoder incremental, chaves de fim de curso, inversor de frequência e um PLC Siemens S7-1200, programado no ambiente *TIA Portal*. A utilização de um PLC e uma HMI torna o sistema mais intuitivo e acessível para os operadores. A interface gráfica da HMI oferece uma visão clara do estado do sistema e a capacidade de realizar ajustes em tempo real, simplificando a operação e melhorando a tomada de decisões.

Com a implementação deste sistema, será possível realizar a operação das comportas à distância com maior precisão, segurança e eficiência, eliminando a necessidade de intervenção local directa. Além de reduzir riscos operacionais, o projecto também contribui para a optimização do tempo de resposta em situações críticas, garantindo maior confiabilidade na gestão dos recursos hídricos da central. Em suma, o sistema proposto alinha-se com os princípios de automação moderna e reforça a importância da tecnologia na sustentabilidade e desempenho de infra-estruturas energéticas.

7.2 Recomendações

Aquando do desenvolvimento do trabalho, constatou-se alguns aspectos que considero importante dar a devida atenção ás seguintes recomendações:

1. Integração com o sistema SCADA da Central

Recomendo a integração do sistema de controle remoto das comportas com o sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) da Central Hidroelétrica da Chicamba, permitindo uma supervisão centralizada e em tempo real de todos os subsistemas da central, incluindo alarmes, históricos de operação e diagnósticos.

2. Monitoramento Preditivo com Sensores Inteligentes

Futuras melhorias podem incluir sensores inteligentes para monitoramento de vibração, temperatura e desgaste mecânico dos guinchos e rolamentos, permitindo manutenção preditiva e evitando paragens não programadas.

7.3 Bibliografia

- [1] Quesada, R.C. 2017 - Controle e automação de processos industriais, 1.^aEdicao, Londrina Educacional S.A., Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza Londrina — PR
- [2] De Moraes, C. C., e Castrucci, P. C., Engenharia de Automação Industrial, 2.^a Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., Rio de Janeiro, 2007
- [3] Moore, J.A., Digital Control Devices, Equipment and Applications, Instrument Society of America, 1986
- [4] ROSÁRIO, J. M. Automação industrial. São Paulo: Baraúna, 2009. 515 p.
- [5] Lakatos, Eva Maria; Marconi, Maria de Andrade 2003 - Fundamentos de metodologia científica, 5^aed., São Paulo: Atlas.
- [6] Petruzella, Frank D. 2014 - Controladores lógicos programáveis, 4^aed., AMGH, Porto Alegre.
- [7] Franchi, C. M., e De Camargo V. L. A, 2008 -Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos, - 1. ed. - São Paulo: Érica, 2008.
- [8] ANTONELLI, P. L. Disponível em: m: Acesso em: 25 jul. 2010.
- [9] Martelli, Rafael, 2012- Automação industrial, 1^aed, Grupo UNIASSELVI, Indaial.
- [10] Zancan, M. D., Controladores Programáveis, e-Tec Brasil, 2011
- [11] <https://earth.google.com/web/search/Barragem+de+Chicamba>
- [12] ELECTRIC WIRE ROPE HOIST: DONATI SOLLEVAMENTI S.r.l, DRH series, ia Quasimodo, 17 - 20025 Legnano (Milano) – Italia
- [13] Operating Instructions: SIMATIC NET, S7-1200, Telecontrol, CP 1242-7. SIEMENS, junho, 2014.
- [14] Operating Instructions: SIMATIC NET, S7-1500, Telecontrol, CP 1242-7. SIEMENS, junho, 2013.

[15] ANTÓNIO , Vivaldo. Projecto de um sistema automático para drenagem de águas residuais para emissário da higest moçambique, machava- maputo província. 2023.
Relatorio de Estagio Profissional – Faculdade de Engenharia-UEM, Maputo,2023.

[16] DE LUCCA, Yvone - Equipamentos Hidromecânicos, São Paulo, 2016

Anexos

Anexo 1: Imagens do Painel de Controlo e do Guincho Eléctrico



Figura A1.1-1: Painel de Controle das Comportas a jusante.



Figura A1.2-1: Guicho eléctrico montado num mono-caril com talha de cabos DRH.



Figura A1.3-1: Ranhuras próprias abertas no maciço da base do edifício.

A1.1

Anexo 2: Diagrama em Ladder do Sistema

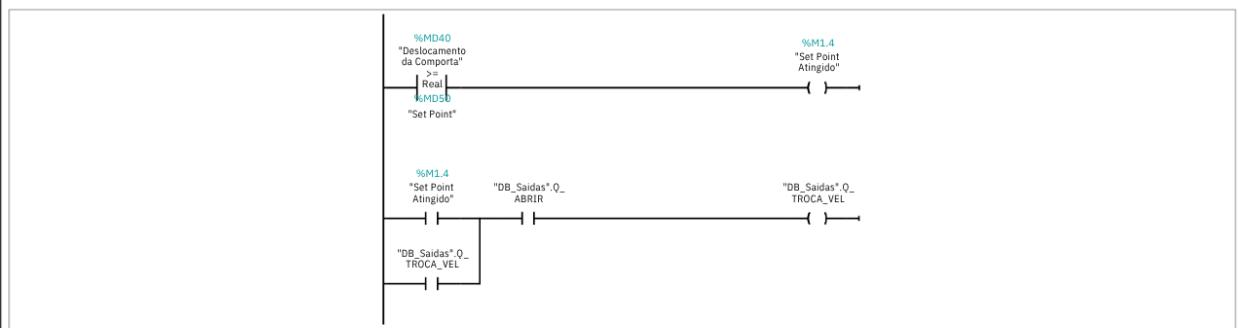
Totally Integrated Automation Portal	Tabela A2.1-2: Programa em Ladder do Sistema	
Sistema de Controle e Accionamento das Comportas da Barragem da Chicamba / PLC_1 [CPU 1214C DC/DC/ Rly] / Program blocks		
Main [OB1]		
Main Properties		
General		
Name		
Numbering		
Information	Main	Number
Title	Automatic	Type
		OB
		Language
		LAD
	"Main Program Sweep (Cy- cle)"	Au thor
Version	0.1	Co mme nt
	User-defined ID	Family
Main		
Name		
Input		
Initial_Call	Bool	
Reman enc e	Bool	Initial call of this OB =True, if remanent data are available
Temp		
Constant		
Network 1: Modo de Operação da Comporta		
Esta Secção permite colocar a comporta na posição: Local, Remota, e Manutenção.		
Network 2: Falhas no Motor e no Inversor		
Esta Secção possibilita a paragem forçada ou de emergência do motor, bloqueando o motor quando ocorre uma falha e sinalizando imediatamente que ocorreu uma falha.		
Network 3: Leitura do Encoder		
Esta secção permite aleitura do Encoder através do contador de alta velocidade (HSC1) do PLC que possibilitam a contagem rápida dos pulsos do encoder.		
Network 4: Deslocamento da Comporta		
Esta secção possibilita a determinação do deslocamento da Comporta.		

Anexo 2: Diagrama em Ladder do Sistema

Totally Integrated Automation Portal	Tabela A2.2-2: Programa em Ladder do Sistema	

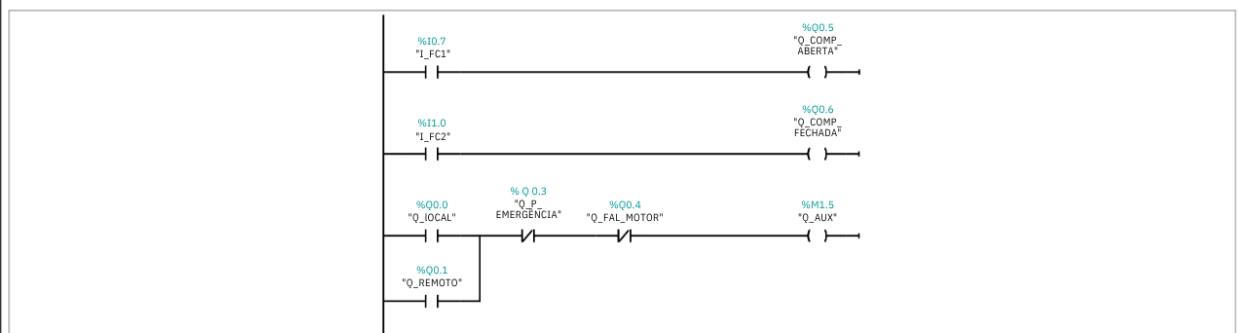
Network 5: Mudança de Velocidade

Nesta secção quando o deslocamento da comporta torna-se maior ou igual ao Set Point estabelecido o motor trocar a sua velocidade de rotação.



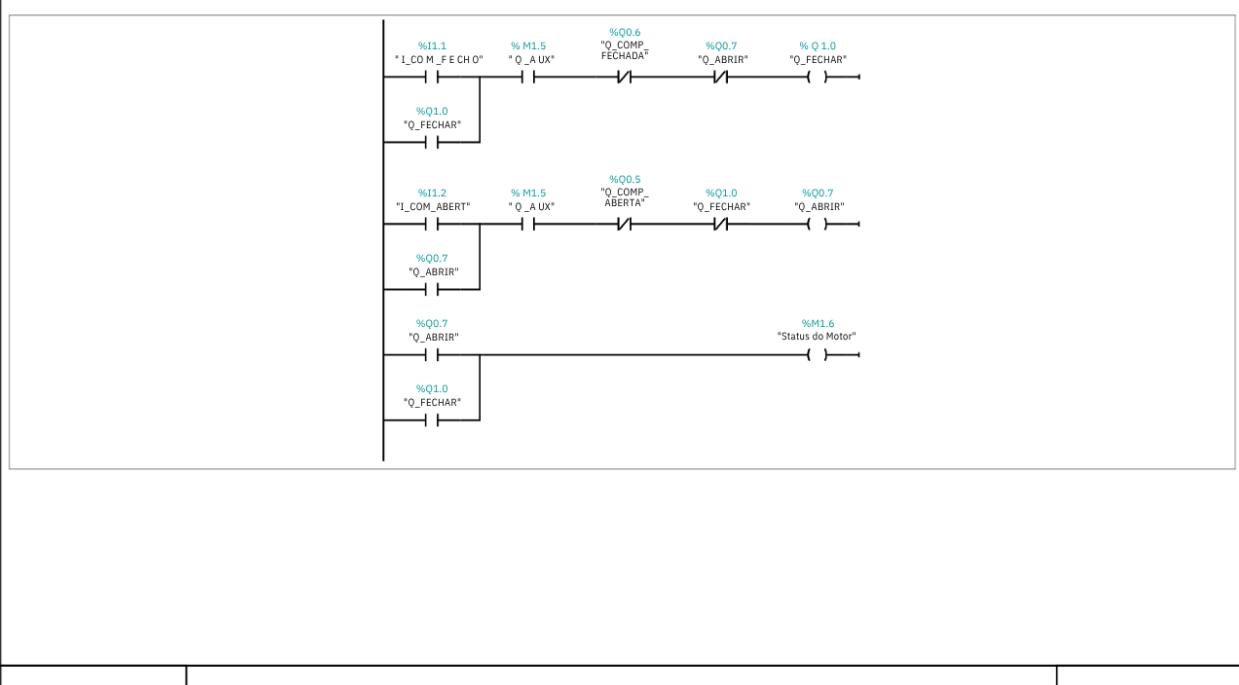
Network 6: Operação dos Sensores de Posição

Nesta secção os sensores de posição "Fim de Curso" Permitem o paragem da comporta e indicando o estado da comporta: "Comporta aberta" e "Comporta Fechada".



Network 7: Manobras de Abertura e Fecho da Comporta

Esta secção permite o comando de abertura ou fecho da Comporta.



Anexo 3: Especificações da CPU do PLC

Tabela A3-3: Especificações da CPU do PLC S7-1200 da Siemens. (Fonte: Catalogo da Siemens S7-200)

informações gerais	
Designação do tipo de produto	CPU 1214C CC/CC/relé
Versão do firmware	V4.7
Engenharia com	
• Pacote de programação	PASSO 7 V20 ou superior
Tensão de alimentação	
Valor nominal (DC)	
• 24 V CC	Sim
faixa permitida, limite inferior (DC)	20,4 V
faixa permitida, limite superior (DC)	28,8 V
Proteção contra inversão de polaridade	Sim
Tensão de carga L+	
• Valor nominal (DC)	24 V
• faixa permitida, limite inferior (DC)	20,4 V
• faixa permitida, limite superior (DC)	28,8 V
Corrente de entrada	
Consumo de corrente (valor nominal)	500 mA; somente CPU
Consumo de corrente, máx.	1 500 mA; CPU com todos os módulos de expansão
Corrente de partida, máx.	12 A; a 28,8 V
Eu não	0,8 A ² ·s
Corrente de saída	
para barramento de backplane (5 V DC), máx.	1 600 mA; Máx. 5 V DC para SM e CM
Fornecimento de codificador	
Alimentação do encoder 24 V	
• 24 V	L+ menos 4 V DC mín.
Perda de potência	
Perda de potência, típica.	12 W



Anexo 4: Especificações técnicas dos Fins de Cursos Rotativos

Tabela A4-4: Especificações dos fins de Cursos Rotativos



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

CONTATOS E CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Pode ser montada com até 04 (quatro) contatos elétricos, montados dois a dois, que podem ser microruptores reversíveis de ação instantânea (SPDT), reed switches com atuação magnética (01 contato NA ou SPDT) ou sensores indutivos (01 contato NA ou NF) para corrente alternada ou contínua, com as capacidades especificadas a seguir.

MICRORUPTOR (SPDT):

TENSÃO	AC-15	DC-13
24 V	6,00A	4,00A
127 V	3,00A	1,10A
220 V	1,50A	0,40A

- Tensão de isolamento: 480V
- Não é aconselhável a utilização dos dois contatos em circuitos de corrente contínua.
- Para uso com cargas indutivas, principalmente em corrente contínua é aconselhável utilizar supressor de transientes.

REED SWITCH:

MODELO	CONTACTO	POTÊNCIA	In	TENSÃO	ISOLAÇÃO
4	NA	12W	0,5A	220V	350V
9	NA+NF	25W	1,0A	220V	250V
10	NA+NF	100W	3,0A	500V	1000V

- Para uso com cargas indutivas, principalmente em corrente contínua é aconselhável a utilização de supressores de transientes.

Anexo 5: Especificações técnicas do IHM (Interface Homem Máquina) e do Encoder

Tabela A5-5: Especificações técnicas da IHM usada. (Fonte: Catalogo Siemens)

Ficha de dados

6AV2124-0GC01-0AX0

	SIMATIC HMI TP700 Comfort, Painel Comfort, operação por toque, ecrã TFT widescreen de 7", 16 milhões de cores, interface PROFINET, interface MPI/PROFIBUS DP, 12 MB de memória de configuração, Windows CE 6.0, configurável a partir do WinCC Comfort V11.
informações gerais	
Designação do tipo de produto	Conforto TP700
Ecrã	
Design de exposição	TFT
Diagonal do ecrã	7 pol.
Largura de exibição	152,4 mm
Altura de exibição	91,4 mm
Número de cores	16 777 216
Resolução (pixéis)	
■ Resolução de imagem horizontal	800 pixels
■ Resolução de imagem vertical	480 pixels
Retroiluminação	
■ Retroiluminação MTBF (a 25 °C)	80 000 h
■ Luz de fundo regulável	Sim; 0-100%
Elementos de controlo	
Fontes do teclado	
■ Teclas de função	
— Número de teclas de função	0
— Número de teclas de função com LEDs	0
■ Chaves com LED	Não
■ Chaves do sistema	Não
■ Teclado numérico	Sim; Teclado no ecrã
■ teclado alfanumérico	Sim; Teclado no ecrã

Anexo 6: Especificações técnicas do Encoder Incremental

Tabela A6-6: especificações técnicas do variador de frequência

Especificações técnicas

Alimentação	5Vdc, 5 a 28Vdc ou 9 ~ 28Vdc
Consumo sem carga nas saídas	Até 200 pulsos = 30mA ≥ 250 pulsos = 40mA
Frequência de resposta	80kHz (80000 pulsos/segundo)
Limite de velocidade	6000 RPM ou 80 kHz - o que ocorrer primeiro
Capacidade de carga nas saídas	A, B, Z ou A-A/, B-B/, Z-Z/ = 20mA por canal
Nível lógico com carga (Saída Push-Pull)	Baixo = 1V Alto = valor da alim.-1,2V
Tempo de subida ou descida do pulso	≤ 2µs
Invólucro encoder	Poliamida com 33% de fibra de vidro
Dimensões da caixa	59 x 55,2 x 65 mm
Temperatura de operação	-10 a 65°C
Umidade relativa (sem retentor)	35 a 95% Não condensado
Grau de proteção	Sem retentor - IP60 Com retentor - IP64
Torque inicial	Sem retentor = 30 gf. cm Com retentor = 100 gf. cm
Carga máxima radial	Ponta de eixo 2 kgf
Carga máxima axial	Ponta de eixo 1 kgf
Vibração máxima	10G na frequência de 50 a 500 Hz
Rigidez dielétrica	500 V / 60Hz por 1 minuto
*Peso aproximado	Tipo carrinho - 0,55 kg Ponta de eixo - 0,26 kg



*Com 2 metros de cabo

Anexo 7 : Especificações Técnicas do variador de frequência

Tabela A7-7: especificações técnicas do variador de frequência

Bornes	Função	Características elétricas
R1A	Contato NANF com ponto comum (R1C) do relé programável R1	<ul style="list-style-type: none"> poder de comutação mín.: 3 mA para 24 V ... poder de comutação máx. com carga resistiva: 5 A para 250 V ~ ou 30 V ...
R2A	Contato com fechamento do relé programável R2	<ul style="list-style-type: none"> poder de comutação máx. em carga indutiva ($\cos j = 0,4$ L/R = 7 ms): 2 A para 250 V ~ ou 30 V ... tempo de amostragem: 7 ms ± 0,5 ms vida: 100.000 manobras no poder de comutação máx.

+10	Alimentação + 10 V ... para potenciômetro de referência 1 a 10 kΩ	<ul style="list-style-type: none"> + 10 V ... (10,5 V ± 0,5 V) 10 mA máx.
AI1+ AI1 -	Entrada analógica diferencial AI1	<ul style="list-style-type: none"> -10 a +10 V ... (tensão máx. de não-destruição 24 V) tempo de amostragem: 2 ms ± 0,5 ms, resolução 11 bits + 1 bit de sinal precisão ± 0,6% p/ $\Delta\theta = 60^\circ\text{C}$ (140°F), linearidade ± 0,15% do valor máx.
COM	Comum das entradas/saídas analógicas	0V
AI2	Segundo a configuração do software: Entr. analógica em tensão ou Entrada analógica em corrente	<ul style="list-style-type: none"> entrada analógica 0 a +10 V ... (tensão máx. de não-destruição 24 V), impedância 30 kΩ ou entrada analógica X - Y mA, X e Y sendo programáveis de 0 a 20 mA impedância 250 Ω tempo de amostragem: 2 ms ± 0,5 ms resolução 11 bits, precisão ± 0,6% para $\Delta\theta = 60^\circ\text{C}$ (140°F), linearidade ± 0,15% do valor máx.
COM	Comum das entradas/saídas analógicas	0V
AO1	Segundo config. do software: Saída analógica em tensão ou Saída analógica em corrente	<ul style="list-style-type: none"> saída analógica 0 a +10 V ..., impedância de carga superior a 50 kΩ ou saída analógica X - Y mA, X e Y sendo programáveis de 0 a 20 mA impedância de carga máx. 500 Ω resolução 10 bits, tempo de amostragem: 2ms ± 0,5 ms precisão ± 1% para $\Delta\theta = 60^\circ\text{C}$, linearidade ± 0,2% do valor máx.

Altivar 71

Inversores de freqüência para motores assíncronos



P24	Entrada para alimentação de controle +24V... externa	<ul style="list-style-type: none"> +24 V ... (mín. 19 V, máx. 30 V) potência 30 Watts 									
0V	Comum das entradas lógicas e 0V da aliment. externa P24	0V									
LI1 LI2 LI3 LI4 LI5	Entradas lógicas programáveis	<ul style="list-style-type: none"> +24 V ... (máx. 30 V) impedância 3,5 kΩ tempo de amostragem: 2ms ± 0,5 ms <table border="1"> <tr> <td>Comutador SW1</td> <td>estado 0</td> <td>estado 1</td> </tr> <tr> <td>Source (reg. fábrica)</td> <td>< 5 V ...</td> <td>> 11 V ...</td> </tr> <tr> <td>Sink int ou Sink ext</td> <td>> 16 V ...</td> <td>< 10 V ...</td> </tr> </table>	Comutador SW1	estado 0	estado 1	Source (reg. fábrica)	< 5 V ...	> 11 V ...	Sink int ou Sink ext	> 16 V ...	< 10 V ...
Comutador SW1	estado 0	estado 1									
Source (reg. fábrica)	< 5 V ...	> 11 V ...									
Sink int ou Sink ext	> 16 V ...	< 10 V ...									
LI6	Segundo a posição do comutador SW2: Entrada lógica programável ou Entrada para sondas PTC	<ul style="list-style-type: none"> comutador SW2 em LI (reg. fábrica) mesmas características das entradas lógicas LI1a LI5 ou comutador SW2 em PTC nível de desligamento 3 kΩ, nível de religamento 1,8 kΩ nível de detecção de curto-circuito < 50 Ω 									
+24	Alimentação das entradas lógicas	<ul style="list-style-type: none"> comutador SW1 em posição Source ou Sink Int alimentação +24 V ... (mín. 21 V, máx. 27 V), protegida contra curtos-circuitos e sobrecargas vazão máx. disponível para os clientes 200 mA comutador SW1 em posição Sink ext entrada para alimentação +24 V ... externa das entradas lógicas 									
PWR	Entrada da função de segurança Power Removal Quando PWR não estiver ligada ao 24V, a partida do motor não é possível (conforme a norma de segurança funcional EN954-1 e IEC/EN61508)	<ul style="list-style-type: none"> alimentação 24 V ... (máx. 30 V) impedância 1,5 kΩ estado 0 se < 2V, estado 1 se > 17V tempo de amostragem: 10 ms 									

Anexo 8: Especificações técnicas do Modulo XPSAC

Tabela A8-8: Características Técnicas do Modulo XPSA



Tipo de saída	Relé de abertura instantânea, 3 circuitos NA, sem tensão
Número de circuitos adicionais	1 saída de estado sólido
Tensão de alimentação nominal [EUA]	24 V CA-20...10% 24 V CC-20...20%

Complementar

Frequência de fornecimento	50/60 Hz
Consumo máximo de energia em W	1,2 W CC
Consumo máximo de energia em VA	2,5 VA
[Uc] tensão do circuito de controlo	24V
Capacidade de rotura	Saída de relé AC-15 C300 de 180 VA Saída de relé AC-15 C300 de 1800 VA
Capacidade de rotura	1,5 A a 24 V (DC-13) constante de tempo: 50 ms para a saída do relé
Corrente térmica de saída	6 A por relé para saída de relé

Anexo 9: Acta de encontro 1

Tabela A9-9: Acta de encontro do dia 30.04.2025



**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA
ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD08	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Proposta do tema e Apresentação do termo de atribuição de tema

2. PRESENÇAS

Supervisor	Msc. Fernando Chachaia, Eng. [°]
Estudante	Dalton Domingos Fernando

3. RESUMO DO ENCONTRO

Neste encontro, o estudante primeiramente apresentou ao supervisor o tema e posteriormente o Termo de Atribuição do Tema e o Plano de Actividades previsto para a elaboração do relatório. O supervisor deu o seu parecer sugerindo ao estudante que fizesse algumas alterações no TAT e PA.

5. RECOMENDAÇÕES

Usar uma linguagem clara e objectiva nas abordagens por forma a evitar erros de percepção, pois estes erros podem alterar todo o contexto das Frases.

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	07-05-2025
------------------------------------	------------

Anexo 10: Acta de encontro 2

Tabela A10-10: Acta de encontro do dia 07.05.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD08	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	------------

1. AGENDA:

Apresentação dos Capítulos 1 e 2

2. PRESENÇAS

Supervisor	Msc. Fernando Chachaia, Eng. ^o
Estudante	Dalton Domingos Fernando

3. RESUMO DO ENCONTRO

Neste encontro o estudante apresentou o capítulo 1 que são as considerações iniciais, ou seja, a introdução, os objectivos, a metodologia a ser usada

No mesmo encontro o estudante apresentou o capítulo 2 ou seja, a revisão da literatura

5. RECOMENDAÇÕES

O supervisor recomendou ao estudante para colocar os objectivos mais directos e a revisão da literatura deve estar alinhada especificamente com o propósito do trabalho

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	19-05-2024
------------------------------------	------------

Anexo 11: Acta de encontro 3

Tabela A11-11: Acta de encontro do dia 19.05.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD08	Data:	17/02/2025
----------------------------	-------------	--------------	-------------------

1. AGENDA:

Apresentação do Capítulo 3

2. PRESENÇAS

Supervisor	Msc. Fernando Chachaia, Eng. ^o
Estudante	Dalton Domingos Fernando

3. RESUMO DO ENCONTRO

Neste encontro o estudante apresentou o capítulo 4 e 5 , a parte central do trabalho, o desenvolvimento do projecto.

5. RECOMENDAÇÕES

O supervisor recomendou ao estudante a organizar e a ser claro nas discussões dos resultados

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	28-05-2024
------------------------------------	------------

Anexo 12: Acta de encontro 4

Tabela A12-12: Acta de encontro do dia 28.05.2025



FACULDADE DE ENGENHARIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD08	Data:	17/02/2025
---------------------	-------------	-------	------------

1. AGENDA:

Apresentação e entrega do relatório final

2. PRESENÇAS

Supervisor	Msc. Fernando Chachaia, Eng. ^o
Estudante	Dalton Domingos Fernando

3. RESUMO DO ENCONTRO

Todas as cópias do relatório de estágio a serem entregues foram verificadas e assinadas para posterior submissão do trabalho.

5. RECOMENDAÇÕES

--

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	N/A
-----------------------------	-----

Anexo 13: Relatório de Progresso

Tabela A13-13: Relatório de Progresso



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA: 2025ELEPD08

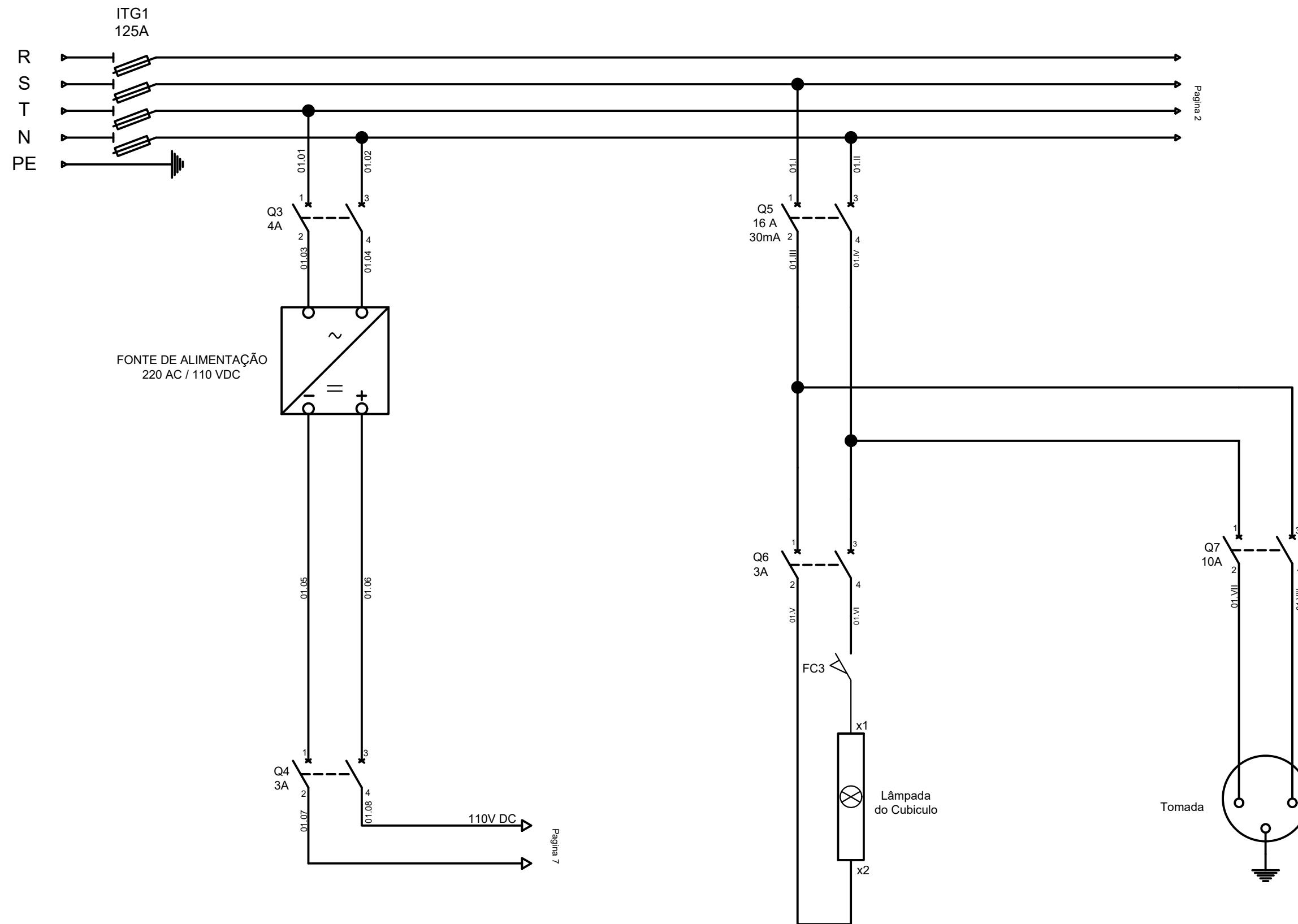
1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

Actividade	Prazo Previsto
1. Escolha e pesquisa do tema	Março de 2025
2. Levantamento bibliográfico	Abril de 2025
3. Escolha de instrumentos de recolha de dados	Abril de 2025
4. Pesquisa de campo	Abril de 2025
5. Redacção da revisão bibliográfica	Maio de 2025
6. Desenvolvimento da Proposta de Sistema Remoto	Maio de 2025
8. Redacção das conclusões e referências bibliográficas	Maio de 2025
9. Revisão e redacção final	Junho de 2025
10. Submissão do relatório final	Junho de 2025

2. CONTROLO DAS ACTIVIDADES

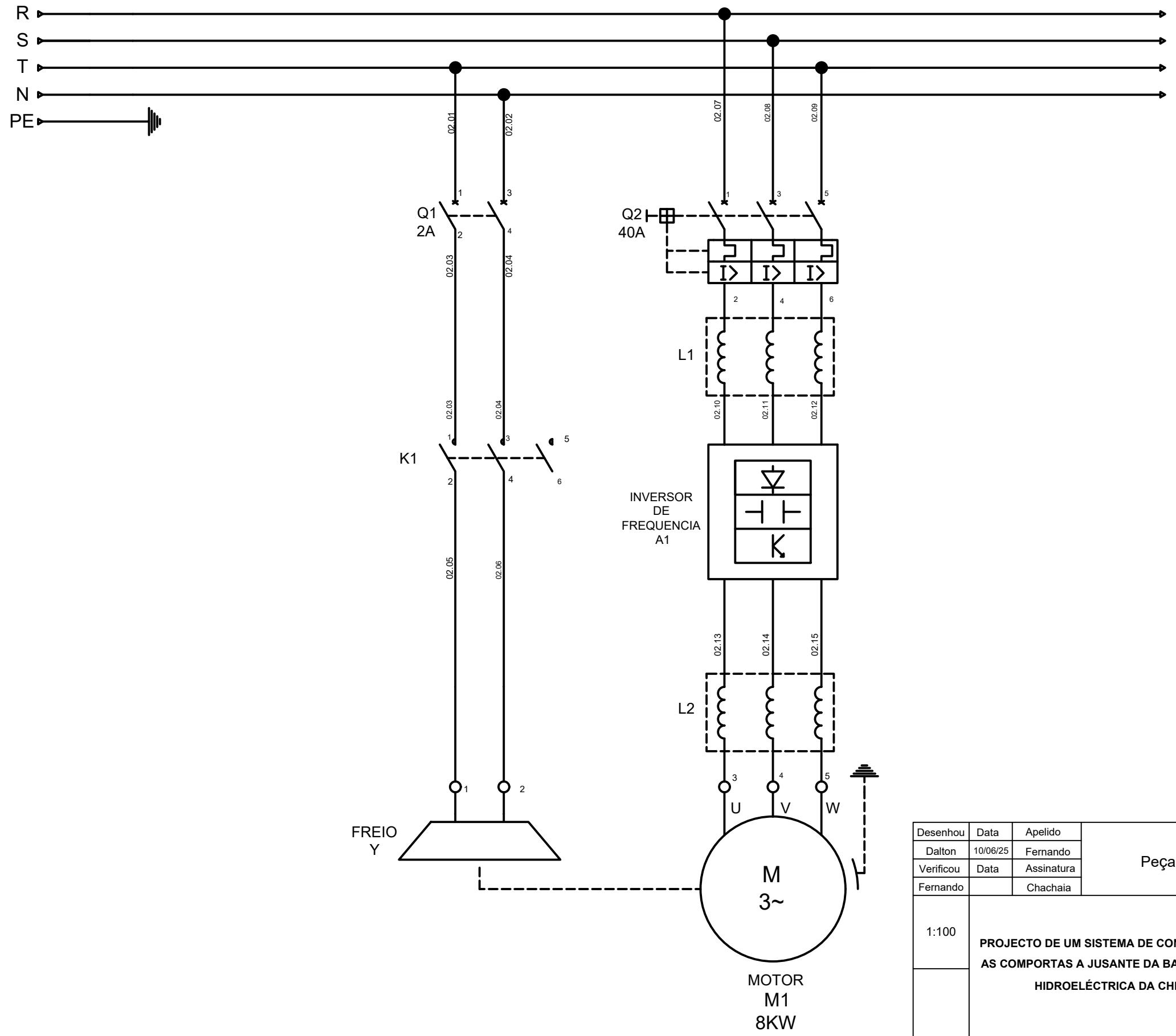
Atv.	Data	Estágio (%)	Observações	Rúbrica
1	30/03/2025	60%	Tema escolhido e pesquisas executadas	
2	14/04/2025	100%	Elaboração e submissão do TAT e plano de actividades	
3	06/05/2025	100%	Conclusão e envio da pesquisa bibliográfica	
4	01/06/2025	100%	Sistema desenvolvido e testes de simulação executados	
5	10/06/2025	100%	Submissão das cópias do relatório	

Apêndices

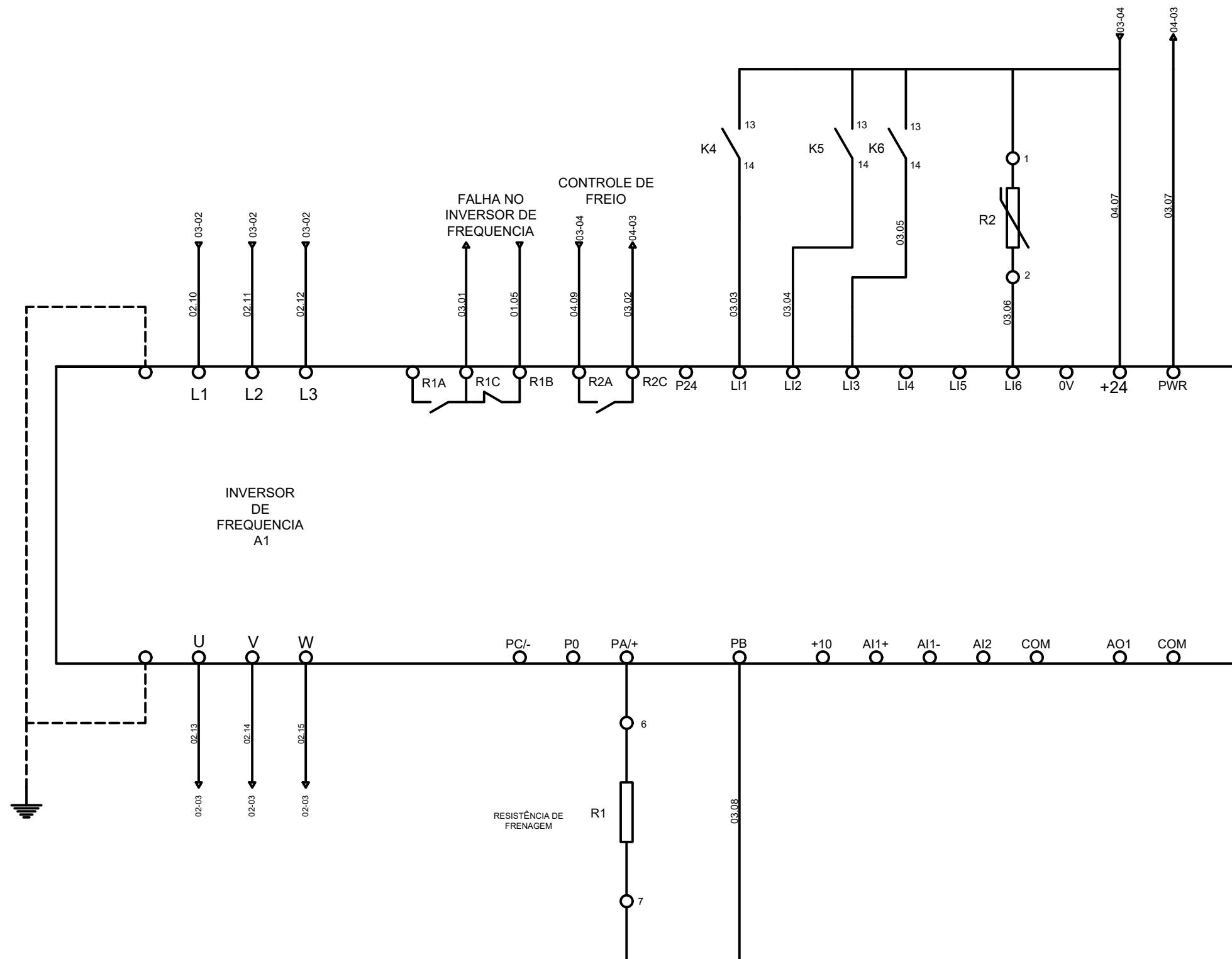


Nota: Estes desenhos têm como objectivo, ilustrar as conexões entre os diversos elementos do sistema e as portas de entrada (digital e analógica) e saída digital, através dos módulos de expansão correspondentes.
Para informações ligadas a cada componente ilustrado, vide Capítulo VI do projecto (Especificações Técnicas e Estimativa de Custos) e/ou os anexos.

Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP1-1: Circuito de Alimentação do Sistema e Iluminação
Dalton	10/06/25	Fernando		
Verificou				
Fernando		Chachaia		
1:100	PROJECTO DE UM SISTEMA DE controlo REMOTO PARA AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)			Apendice 1 AP1.15



Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP2-2: Circuito de Potência do Sistema		
Dalton	10/06/25	Fernando				
Verificou	Data	Assinatura				
Fernando		Chachaia				
1:100	PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)					
	Apendice 2 AP2.16					

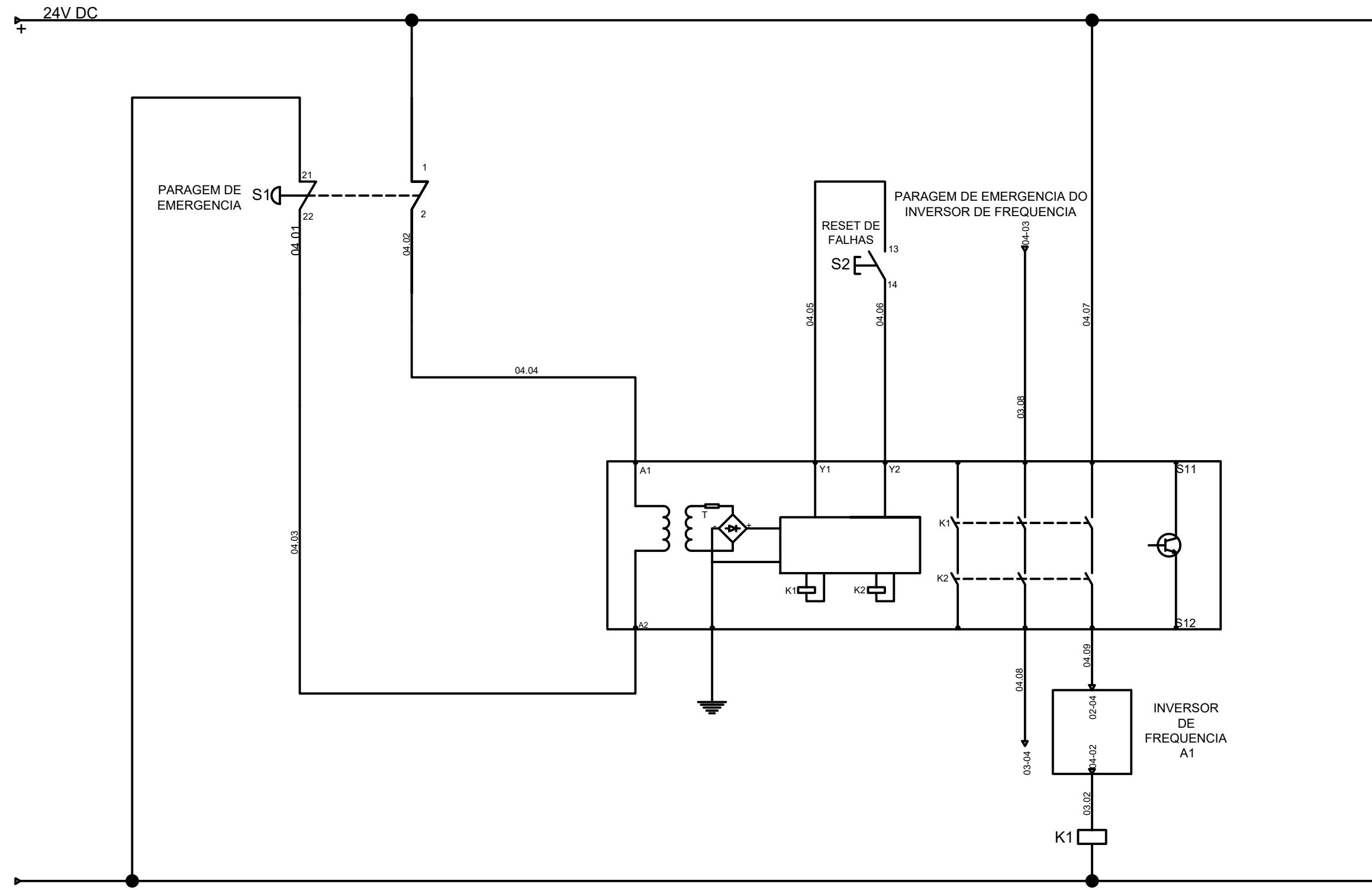


Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP3-3: Ligações de comando do Inversor de Frequência
Dalton	10/06/25	Fernando		
Verificou	Data	Assinatura		
Fernando		Chachaia		

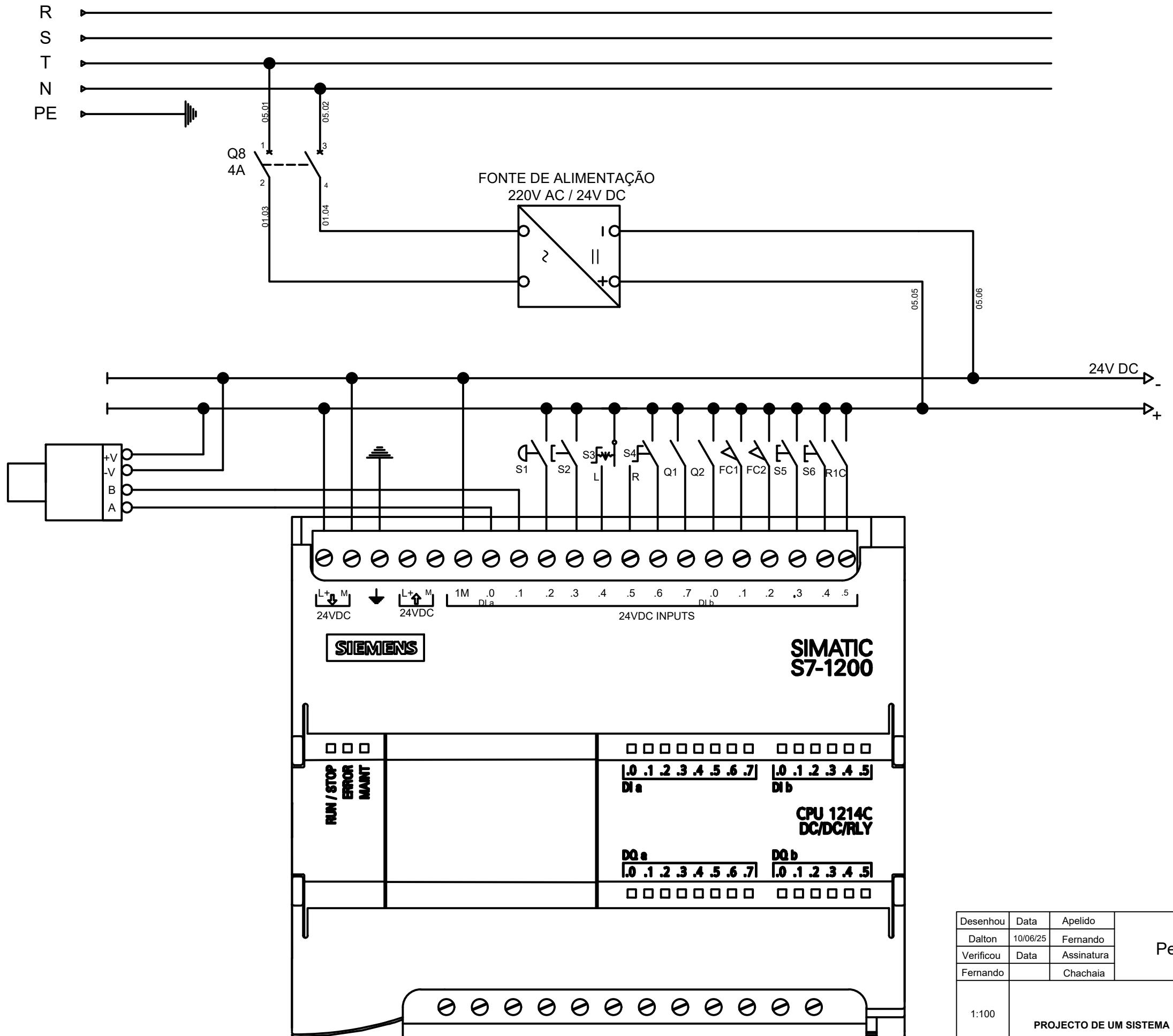
Figura AP3-3: Ligações de comando do Inversor de Frequência

PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA
AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)

Apendice 3
AP3.17



Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP4-4: Ligação do Modulo XPS
Dalton	10/06/25	Fernando		
Verificou	Data	Assinatura		
Fernando		Chachaia		
1:100	PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)			Apendice 4 AP4.18

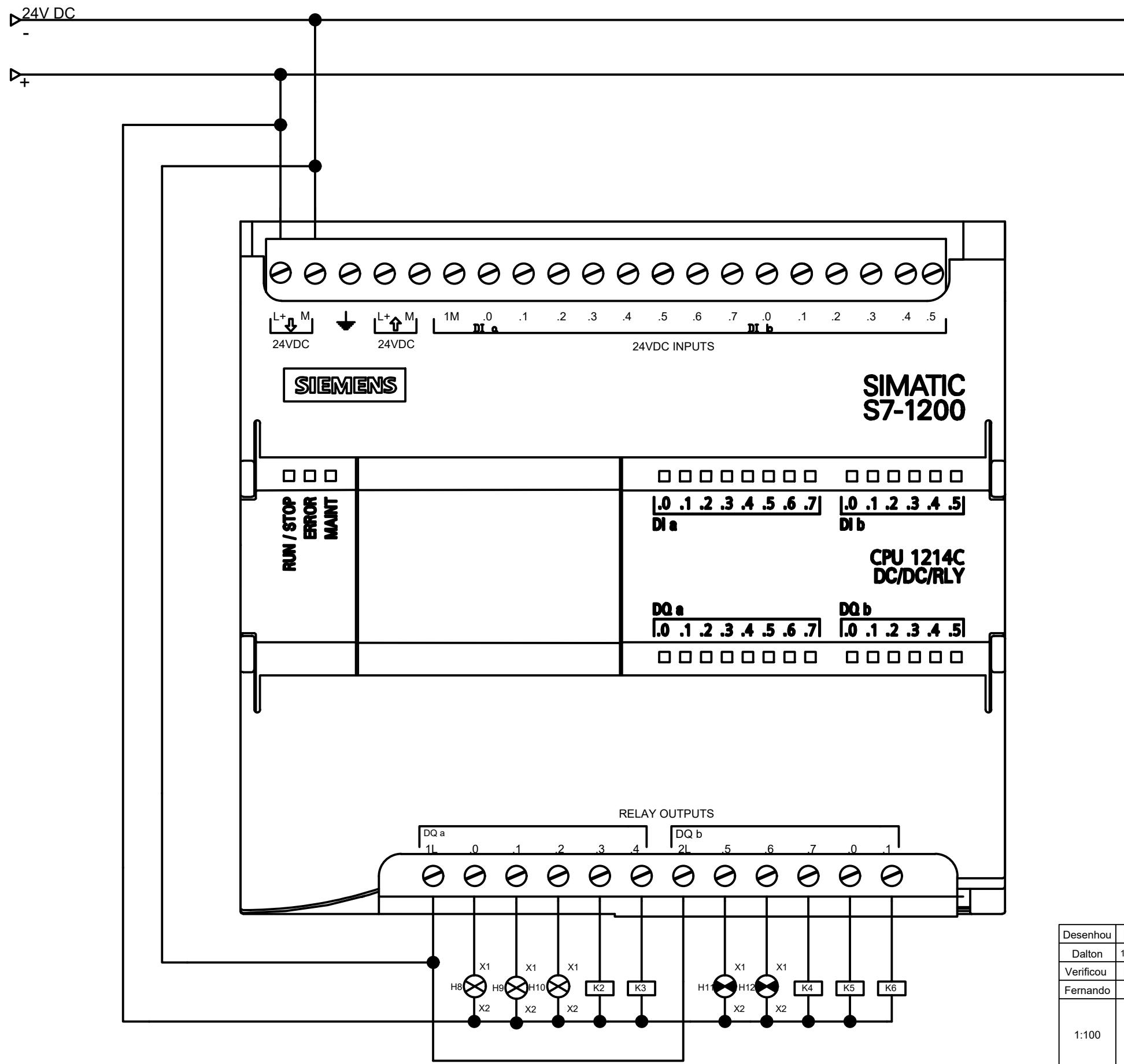


LEGENDA

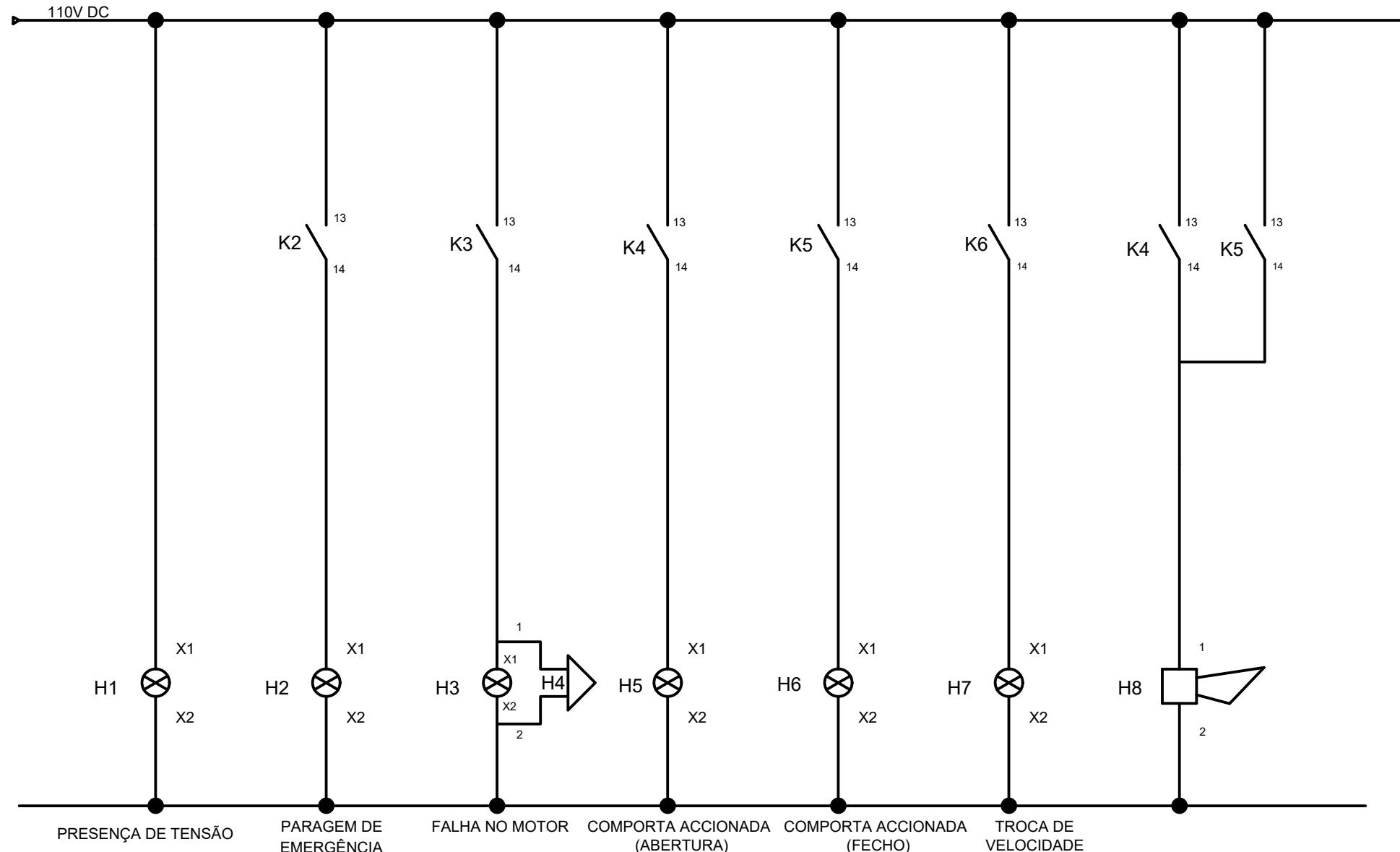
- S1-Paragem de Emergência
- S2-Reset de Falhas
- S3-Modo Local/Remote
- S4-Modo Manutenção
- Q1-Proteção do Motor
- Q2-Proteção do Freio
- FC1-Fim de Curso 1
- FC2-Fim de Curso 2
- S5-Abrir Comporta
- S6-Fechar Comporta

Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP5-5: Ligação dos Sensores e Entradas ao Autómata
Dalton	10/06/25	Fernando		
Verificou		Assinatura		
Fernando		Chachaia		
1:100				Apêndice 5 AP5.19

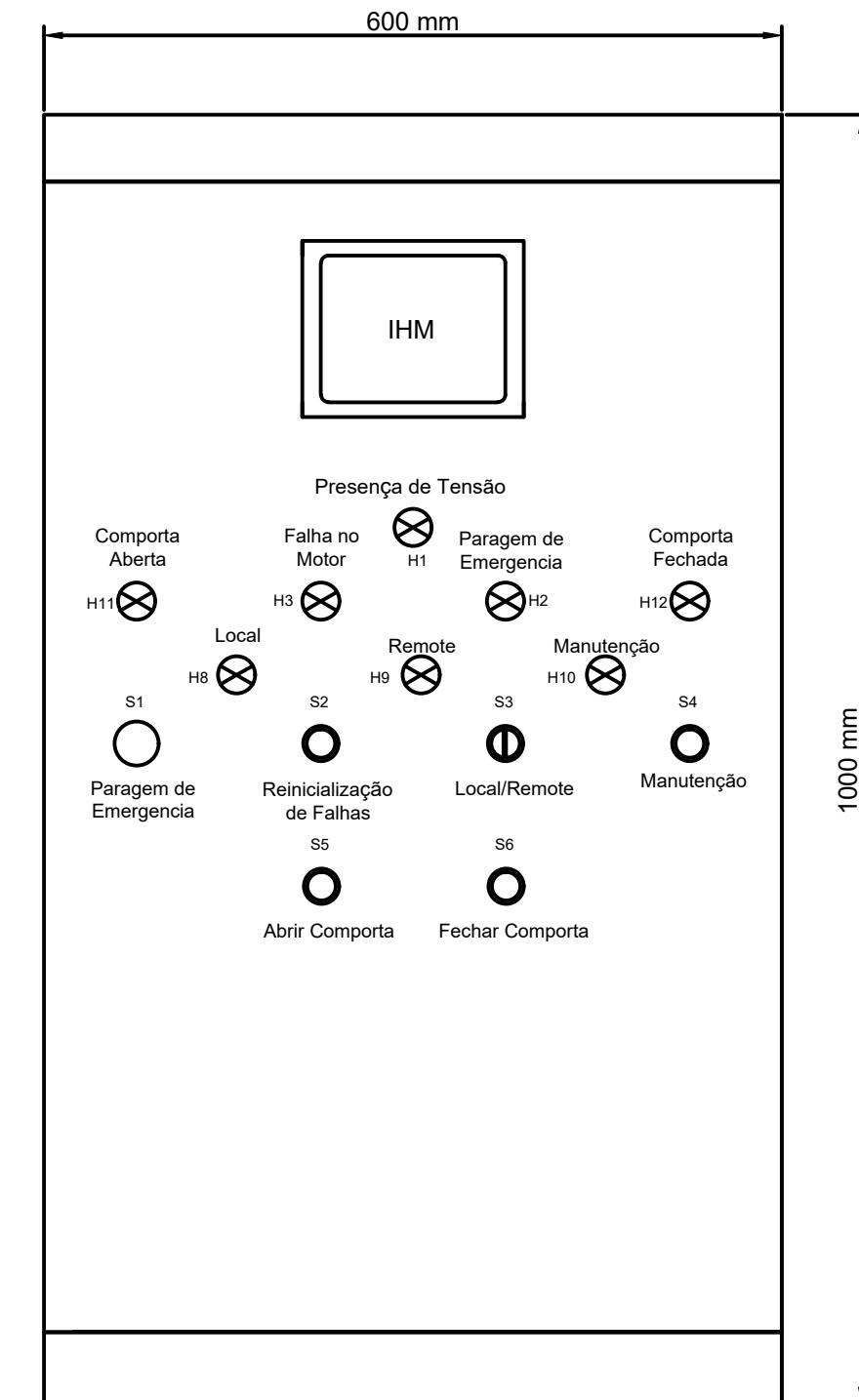
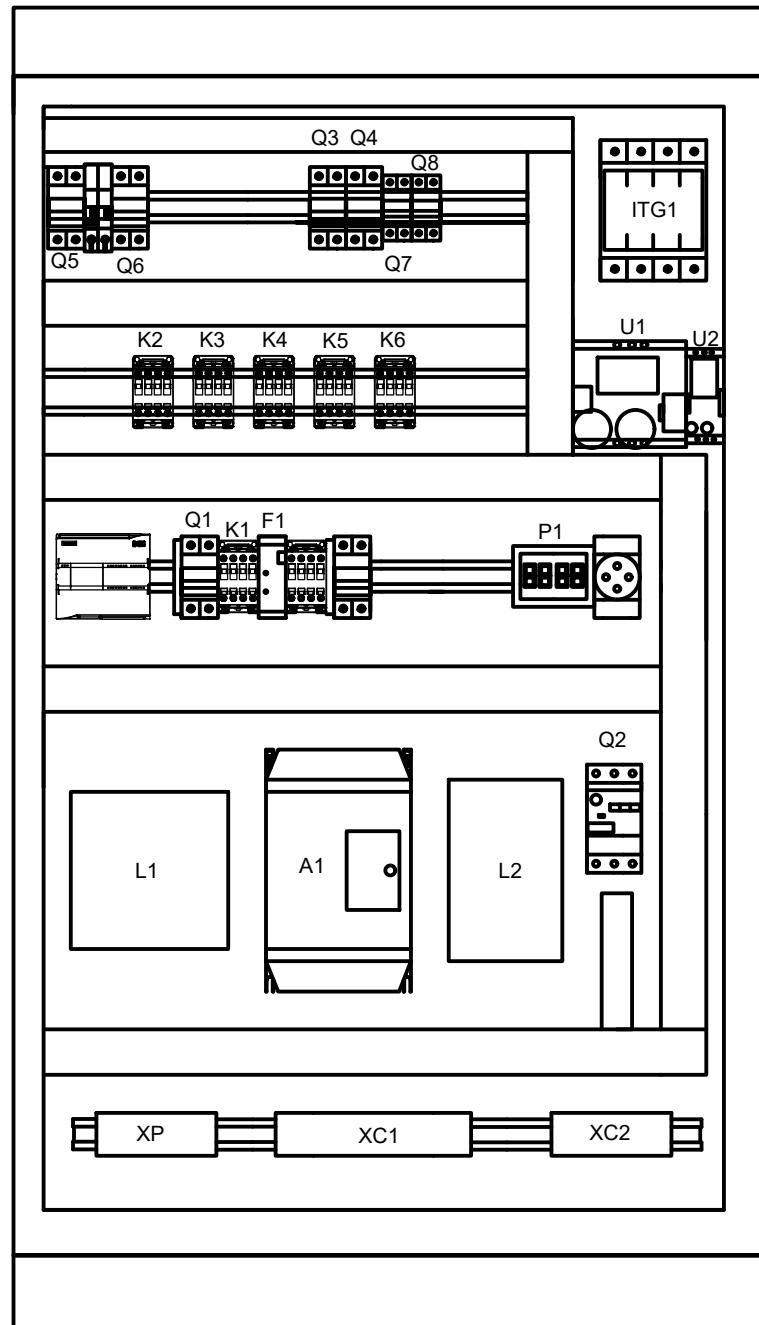
PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)



Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP6-6: Ligações dos atuadores e Saídas ao Autómatos	
Dalton	10/06/25	Fernando			
Verificou	Data	Assinatura			
Fernando		Chachaia	PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)		
1:100				Apendice 6 AP6.20	



Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP7-7: Circuito de Comando para Sinalização
Dalton	10/06/25	Fernando		
Verificou		Assinatura		
Fernando		Chachaia		
1:100	PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)			Apendice 7 AP7.21



Desenhou	Data	Apelido
Dalton		Fernando
Verificou		Assinatura
Fernando		Chachaia

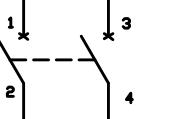
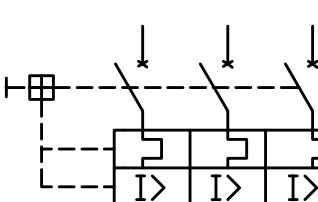
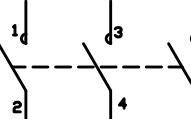
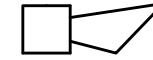
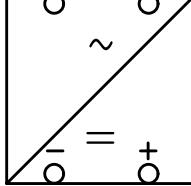
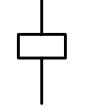
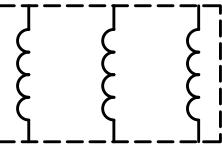
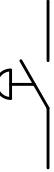
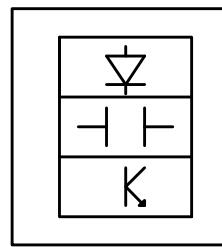
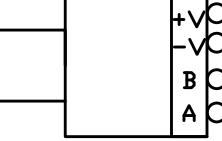
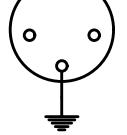
Peças Desenhadas

Figura AP8-8:
Quadro Electrico

1:100

PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA
AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)

Apendice 8
AP8.22

SIMBOLOGIA	DESIGNAÇÃO	SIMBOLOGIA	DESIGNAÇÃO
○	Borne de Ligação		Disjuntor termomagnético ipolar
●	Ponto de derivação		Disjuntor Motor
⊗	Sinalizador Vermelho		
⊗	Sinalizador Verde		
⊗	Sinalizador Amarelo		
⊗	Sinalizador Branco		Contactos de Força do contactor de potência
	Sirene		
	Buzina		Fonte de alimentação AC-DC
	Bobina		Reatores para inversor de frequencia
	Botão de pressão NA		
	Botão de Emergência		Inversor de Frequencia
	Chave Selectora de 3 Posições		Encoder Incremental
	Botão de Pressão com retenção		Lâmpada do Cubículo
			Tomada

I-FIAÇÃO

CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO 400V

- CORRENTE ALTERNADA
 1. NEUTRO: AZUL
 2. FASE 1: PRETO
 3. FASE 2: PRETO
 4. FASE 3: PRETO
- CONDUTOR DE TERRA: VERDE/AMARELO

SECÇÃO DO CONDUTOR (COBRE)

I<	6A	10A	16A	25A	32A	40A	63A	80A	100A	125A	160A	200A	250A	300A
S mm ²	0.75	1.5	2.5	4	6	6	10	16	25	35	50	70	95	120

-4mm²: PARA CABLEAGEM DE PROTECÇÃO
 -2mm²: PARA TODOS CARGAS E CIRCUITOS DE TC
 -1.5mm²: PARA CABLEAGEM DE CONTROLO

CIRCUITO DE CONTROLE 24VDC

III-CÓDIGO DO CONDUTOR

TIPO: MEMOCAB

X — NUMERO DA PAGINA
 10 — NUMERO DO FIO

III-EQUIPAMENTO

SINALIZAÇÃO

-LAMPADA PARA CONDIÇÕES PERIGOSAS: VERMELHO
 -LAMPADA PARA CONDIÇÕES ANORMAIS: AMARELO
 -LAMPADA PARA PRESENÇA DE TENSÃO: BRANCO

Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura A9-9: Simbologia e designações
Dalton	10/06/25	Fernando		
Verificou	Data	Assinatura		
Fernando		Chachaia		
1:100	PROJECTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO REMOTO PARA AS COMPORTAS A JUSANTE DA BARRAGEM DA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DA CHICAMBA (CHC)			Apendice 9 AP9.23