

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

FRANCISCO BATISTA FILHO

**CORREÇÕES NO ACIONAMENTO ELÉTRICO E IMPLEMENTAÇÃO DE
AUTOMAÇÃO EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO: ESTUDO DE CASO NA ZONA
RURAL DO INTERIOR PARAIBANO.**

Cajazeiras-PB
2024

FRANCISCO BATISTA FILHO

**CORREÇÕES NO ACIONAMENTO ELÉTRICO E IMPLEMENTAÇÃO DE
AUTOMAÇÃO EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO: ESTUDO DE CASO NA
ZONA RURAL DO INTERIOR PARAIBANO.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob Orientação do Prof. José Tavares de Luna Neto.

Cajazeiras-PB
2024

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

B333c	<p>Batista Filho, Francisco.</p> <p>Correções no acionamento elétrico e implementação de automação em um sistema de irrigação : estudo de caso na zona rural do interior paraibano / Francisco Batista Filho. – 2024.</p> <p>79f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2024.</p> <p>Orientador(a): Prof. Me. José Tavares de Luna Neto.</p> <p>1. Automação. 2. Acionamento elétrico. 3. Sistema de irrigação 4. Controle automático. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p> <p>IFPB/CZ</p>
-------	--

CDU: 681.5(043.2)

FRANCISCO BATISTA FILHO

**CORREÇÕES NO ACIONAMENTO ELÉTRICO E IMPLEMENTAÇÃO DE
AUTOMAÇÃO EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO: ESTUDO DE CASO NA ZONA
RURAL DO INTERIOR PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação, sob Orientação do Prof. José Tavares de Luna Neto.

Aprovado em 25 de setembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

José Tavares de Luna Neto – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Gerônimo Barbosa Alexandre – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Manoel Alves Cordeiro Neto – IFPE – *Campus* Garanhuns
Examinador 2

Dedico este trabalho aos meus pais e a meu falecido avô, pelas palavras de incentivo e ajuda ao longo do caminho. “Ainda que eu ande pelo vale da morte, não temerei mal algum, porque tu estás comigo” (Salmo 23: 4)

AGRADECIMENTOS

Venho agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado forças para continuar em frente apesar dos desafios enfrentados ao longo do curso e dos que foram apresentados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Também quero agradecer ao meu pai Francisco Sobrinho e minha mãe Maria Das Graças pelo suporte nesta jornada, como também dedicar esses esforços ao meu falecido avô Raimundo Lunguinho, que sempre acreditou que eu poderia ser algo melhor.

Quero também agradecer aos meus orientadores José Tavares e Gerônimo Alexandre, por terem acatado esta missão de me orientar ao longo deste trabalho, como também dar agradecimentos ao meu supervisor de estágio João Lopes, pelos conhecimentos repassados que me auxiliaram para a conclusão deste trabalho.

Para as pessoas que de alguma forma contribuíram para o meu desenvolvimento e auxílio ao longo desta jornada, agradeço profundamente por tudo, e desejo que Deus abençoe a todos.

RESUMO

A irrigação é um meio que viabiliza a produção agrícola em regiões, de escassez de chuvas ou irregularidade das mesmas, com isto foi trabalhado um meio de auxiliar a irrigação, aplicando um sistema automatizado de irrigação temporizada, de construção robusta para alta durabilidade com componente industriais, assim é construído um painel elétrico que acomode estas propriedades de automação e também de proteção para o sistema de irrigação, dispondo de disjuntores, relé falta de fase, temporizador semanal programável, tudo para que o sistema se torne confiável e que evite queima de algum componente do sistema, assim o sistema possuindo anteriormente uma chave de partida direta manual, passará para um sistema automatizado e com componentes de segurança para o funcionamento do motor, além de também sugerir implementações mais complexas de automação com experimentos em laboratório, como controle de fluxo d'água por meio do controle de velocidade do motor trifásico com inversor de frequência e o monitoramento por meio de software de supervisão Scada.

Palavras-chave: automação; comandos elétricos; irrigação; painel elétrico.

ABSTRACT

Irrigation is a means that enables agricultural production in regions with scarce or irregular rainfall. A means of assisting irrigation was developed by applying an automated timed irrigation system, with robust construction for high durability and industrial components. An electrical panel was built to accommodate these automation properties and also protection for the irrigation system, with circuit breakers, phase failure relay, and programmable weekly timer, all so that the system becomes reliable and prevents any component of the system from burning out. Thus, the system, which previously had a manual direct start switch, will become an automated system with safety components for the operation of the motor. More complex automation implementations with laboratory experiments are also suggested, such as water flow control through three-phase motor speed control with frequency inverter and monitoring through Scada supervision software.

Keywords: automation; electrical controls; irrigation; electrical panel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Motor de Corrente Contínua Simplificado	18
Figura 2 - Classificação dos motores elétricos	19
Figura 3 - Peças constituintes do motor CA	20
Figura 4 - Vista em corte de um motor trifásico com rotor gaiola de esquilo	20
Figura 5 – Vista em corte de um motor trifásico com rotor bobinado	21
Figura 6 - Rotor gaiola de esquilo	21
Figura 7 – Rotor bobinado	22
Figura 8 – Fusível e seus elementos internos	23
Figura 9 – Fusível diazed	24
Figura 10 – Fusível neozed	24
Figura 11 – Relé de Sobrecarga	25
Figura 12 – Relé Falta de Fase	25
Figura 13 – Ciclo de Varredura de um CLP	26
Figura 14 – Controlador Lógico Programável (CLP)	27
Figura 15 – Relé de Nível WEG	27
Figura 16 – Interface Homem-Máquina (IHM)	28
Figura 17 – Placa de Identificação do Motor Usado na Irrigação	34
Figura 18 – Motor WEG de 7,5CV	35
Figura 19 – Chave de Partida	35
Figura 20 – Entrada da Rede Trifásica	36
Figura 21 – Visão Geral do Local	37
Figura 22 – Derivação de Rede Trifásica para o Fornecimento de Energia	37
Figura 23 – Distância do Transformador para o Motor	38
Figura 24 – Disjuntor Geral do Sistema	39
Figura 25 – Poste de Derivação Principal	39
Figura 26 – Placa de Identificação do Motor	40
Figura 27 – Acionamento do Motor	41
Figura 28 – Derivação da Rede Trifásica	42
Figura 29 – Instalação do Motor	43
Figura 30 – Fonte de Água Usada	43
Figura 31 – Esquema elétrico da Partida Direta 2d e 3d	47

Figura 32 – Esquema elétrico da alimentação multifilar	48
Figura 33 – Esquema elétrico do comando multifilar	49
Figura 34 – Layout do painel elétrico em 2D.....	49
Figura 35 – Modelo 3D do painel elétrico.....	50
Figura 36 – CLP FX3U-24MR.....	51
Figura 37 – Interface de Supervisão Scada Desenvolvida no VT Scada.....	52
Figura 38 – Relé de Interface	52
Figura 39 – Módulo de Conversão de Comunicação RS-485 para USB.....	53
Figura 40 – Partida Direta	54
Figura 41 – Circuito de Controle da Velocidade do Motor.....	55
Figura 42 – Interface Supervisória Scada para Controle da Velocidade do Motor.....	56
Figura 43 - Minidisjuntor Mdw-c16-3 16A.....	60
Figura 44 - Contator WEG Cwm32-10-30.....	61
Figura 45 - Relé térmico WEG RW27-2D3-U015.....	62
Figura 46 - Disjuntor-Motor AZ MPW18-3-U016	63
Figura 47 – Relé Falta de Fase ALTRONIC	63
Figura 48 – Temporizador de digital	64
Figura 49 – Sinaleiro	64
Figura 50 – Botoeira.....	65
Figura 51 – Chave seletora	65
Figura 52 – Transformador de Comando	65
Figura 53 – Furação e Colocação de Comando e Sinalização.....	66
Figura 54 – Passagem dos Condutores de Força	66
Figura 55 – Passagem dos Condutores de Comando.....	67
Figura 56 – Organização e Instalação do Transformador de Comando	67
Figura 57 – Identificação das Funções dos Componentes de Comando	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medições realizadas em Campo	46
Tabela 2 – Plano de Manutenção preventiva.....	69

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 - Esquema metodológico do estudo parte 1	31
Fluxograma 2 – Diagrama sinóptico da trajetória do trabalho parte 1	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP – Controlador Lógico Programável

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

IHM – Interface Homem Máquina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	MOTORES ELÉTRICOS, SURGIMENTO E AVANÇO	18
3.2	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO ELÉTRICA, CONCEITOS E APLICAÇÕES	23
3.3	DISPOSITIVOS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO, CONCEITO E APLICAÇÃO	26
3.4	NORMAS TÉCNICAS PARA INSTALAÇÃO ELÉTRICA E MOTORES ELÉTRICOS	28
4	METODOLOGIA	30
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	30
4.2	ABORDAGEM METODOLÓGICA	32
5	LEVANTAMENTO DA PROBLEMÁTICA	34
5.1	PROPOSTA DE PROBLEMÁTICA 1	34
5.2	PROPOSTA DE PROBLEMÁTICA 2	40
6	EXPOSIÇÃO DO TRAJETO A SER PERCORRIDO	44
7	ANÁLISE E RESULTADOS DA SITUAÇÃO ATUAL	46
8	PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO PARA A IRRIGAÇÃO	48
8.1	EXPERIMENTO 01	51
8.2	EXPERIMENTO 02	54
9	DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES	57
9.1	CASO 1	57
9.2	CASO 2	57
10	DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES	59

10.1 COMPONENTES DE PARTIDA	59
10.1.1 Disjuntor Tripolar	59
10.1.2 Contator	60
10.1.3 Relé Térmico.....	61
10.1.4 Disjuntor Motor	62
10.1.5 Relé Falta de Fase	63
10.2 COMPONENTES DE AUTOMAÇÃO.....	63
10.3 COMPONENTES DIVERSOS.....	64
11 APLICAÇÃO PRÁTICA DO PROJETO	66
12 PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA	69
13 CONCLUSÃO	70
REFERÊNCIAS	71
APÊNDICE A – PROJETO DE AUTOMAÇÃO ELABORADO NO EPLAN ELECTRIC P8.....	75

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da agricultura para a subsistência dos povos remonta a épocas entre 10 e 15 mil anos atrás como nos informa Lutzenberger (2001). Foi um dos grandes avanços da humanidade para suprir a necessidade de alimentos, decorrente do aumento populacional e com crescente aumento de aglomerados de pessoas. Como o tempo tendeu a uma evolução constante em busca de alimentos de melhor qualidade e de produções cada vez maiores, foram empregados sistemas mais tecnológicos nas plantações, fazendo pequenos agricultores familiares darem espaço para a industrialização do sistema agrícola.

No decorrer do tempo a agricultura se tornou cada vez mais mecanizada e eletrônica. De acordo com Dias, Queiroz e Mantovani (1998) já se tornou imprescindível ter o mínimo de conhecimento em eletrônica, elétrica e mecânica, para trabalhar no setor de agricultura. Desse modo, a industrialização do setor agrícola tornou o processo de planta e colheita mecânico e automatizado.

Um ponto importante a ser considerado na agricultura é o setor de irrigação, que se tornou importante para o cultivo, a irrigação tem extrema importância para a produção em regiões áridas como a do nordeste brasileiro, onde não pode depender exclusivamente da precipitação natural adequada. Deve-se isso por outros motivos, além da instabilidade de chuvas, sendo levado em consideração o alto custo das terras e o elevado capital necessário para a exploração agrícola, assim ocorre o aumento de interesse por parte do meio empresarial para a prática de irrigação (Lima; Ferreira; Christofidis, 1999).

Com a distribuição de energia elétrica, sendo acessível a todos, e o desenvolvimento de motores elétricos e de dispositivos eletrônicos se tornando cada vez mais comum, o ambiente mundial se tornou fértil para a criação de diversos meios de automatização de atividades. Assim foram criados dispositivos de automação como controladores programáveis, sensores, atuadores, supervisores entre outros equipamentos. De acordo com Gutierrez e Pan (2008), a automação é um mercado em constante evolução, não ficando preso a um chão de fábrica industrial e com o decorrer do tempo sua implementação foi sendo diversificada para uma gama de setores. Com isso a automação tem chegado à agricultura, de modo a aprimorar o trabalho e a produção agrícola.

Com base na crescente automatização dos processos e tendo em vista a necessidade da automação de sistemas agrícolas para um melhor uso dos recursos disponíveis, achou-se interessante o estudo, de um sistema de irrigação comum usado no interior paraibano de um

pequeno agricultor, para que seja feito um projeto de correção da parte elétrica para assim o sistema ficar em conformidade com as normas de instalações elétricas. Ainda será realizado a elaboração de um projeto de automação do processo, sendo estes os objetivos centrais deste presente trabalho.

2 OBJETIVOS

Nesse capítulo delinea-se os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso.

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo técnico visando correções e implementação de um processo de automação, voltado ao acionamento elétrico de um sistema de irrigação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- analisar as instalações elétricas do atual sistema de irrigação;
- dimensionar o acionamento elétrico em conformidade as normas técnicas vigentes;
- incluir automação no processo de operação do sistema de irrigação em estudo;
- sugerir um plano de manutenção preventiva.

3 REVISÃO DE LITERATURA

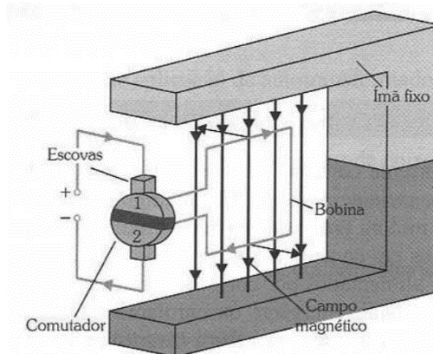
Neste capítulo será apresentado as referências bibliográficas para a realização do estudo, contendo definições e conceitos teóricos, dos objetos trabalhados.

3.1 MOTORES ELÉTRICOS, SURGIMENTO E AVANÇO

O desenvolvimento do motor elétrico está dentre os grandes avanços, da humanidade em termos tecnológicos, proporcionando um modo de gerar energia mecânica por meio da energia elétrica. Segundo Petruzella (2013), o motor elétrico é basicamente uma máquina elétrica que converte energia elétrica em energia mecânica, por meio da interação de campos magnéticos.

Internamente na definição de um motor elétrico, existem vários ramos, dividindo-se primordialmente em motores de corrente contínua (CC) e motores de corrente alternada (CA). Os motores CC foram majoritariamente, utilizados no início da inserção de energia elétrica nas indústrias. Usando-se de leis do eletromagnetismo, os motores CC foram construídos basicamente usando o princípio de atração e repulsão de polos magnéticos. Para melhor exemplificação, do que se trata o motor CC em questão, é exposto uma ilustração simplificada de um motor CC na Figura 1.

Figura 1 - Motor de Corrente Contínua Simplificado



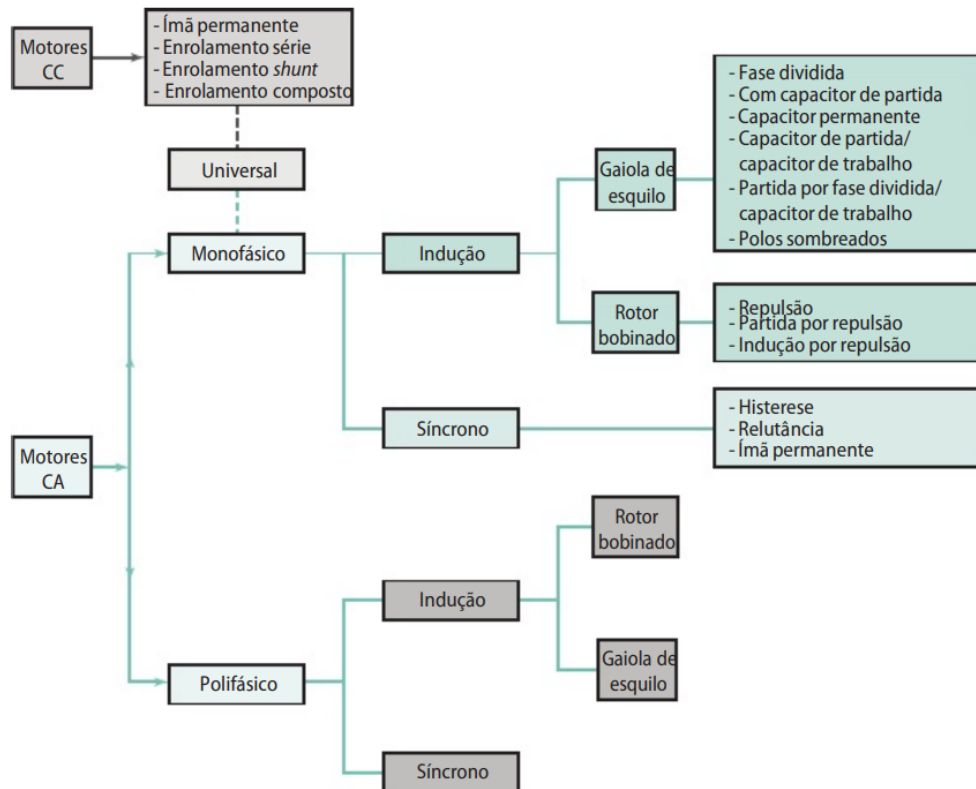
Fonte: Nascimento Júnior (2011)

Quando um condutor com passagem de corrente elétrica, em formato de bobina, é inserido em um campo magnético fixo, produzido por ímãs permanentes ou por enrolamentos bobinados com passagem de corrente elétrica contínua. Ocorre uma interação entre os campos magnéticos da corrente do condutor e do campo permanente, fazendo com que o condutor experimente uma força. A magnitude desta força é proporcional a corrente que passa pelo

condutor. Sendo, o condutor colocado em campo magnético de forma perpendicular, a força tenderá a movimentar o condutor em ângulos retos (Petruzella, 2013).

Caracterizando os motores CC, são encontrados vários tipos de variações, sendo elas os motores CC de ímã permanente, enrolamento série, enrolamento shunt e enrolamento composto. Com o intuito de ilustrar as diferentes categorias e subdivisões de motores elétricos, a seguir, é apresentado um diagrama, contendo as classificações de motores elétricos na Figura 2.

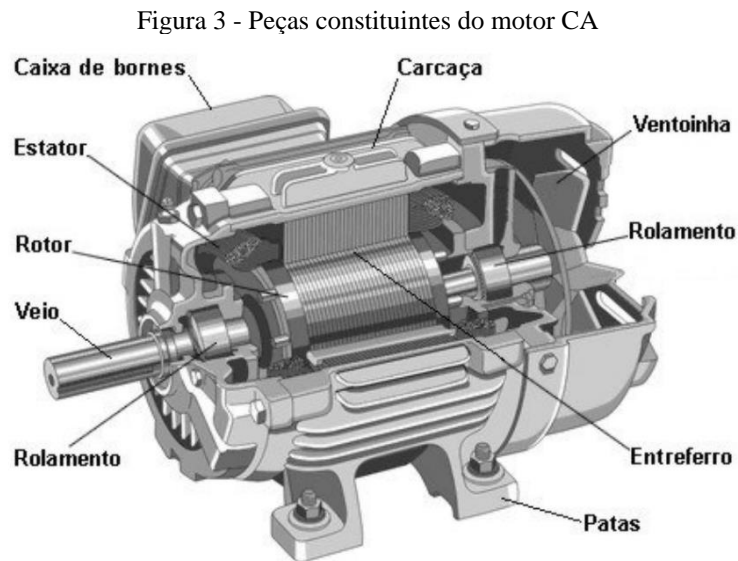
Figura 2 - Classificação dos motores elétricos



Fonte: Petruzella (2013)

Afunilando a teoria, para o motor CA trifásico de indução, tem-se que de acordo, com Toro (1994), o campo girante fabricado no estator do motor é a base crucial, para o seu funcionamento, com a aplicação da tensão trifásica nos enrolamentos do estator é produzido este campo eletromagnético girante. Devido as características da tensão alternada trifásica, que variam com o tempo, em uma forma de onda senoidal e variada entre valores positivos e negativos. Por meio do efeito de indução (transformador), é induzido uma força eletromotriz no enrolamento do rotor, fazendo circular uma corrente, pelo rotor. A corrente circulando no rotor, por sua vez, produz um campo magnético, que interage com o campo magnético girante

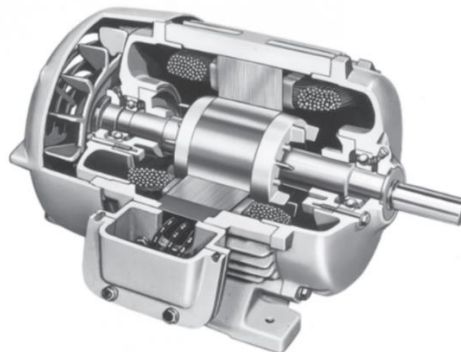
do estator, produzindo o torque no rotor. Na Figura 3 é apresentado um esquemático das peças constituintes dos motores de corrente alternada (CA).



Fonte: Francisco (2006)

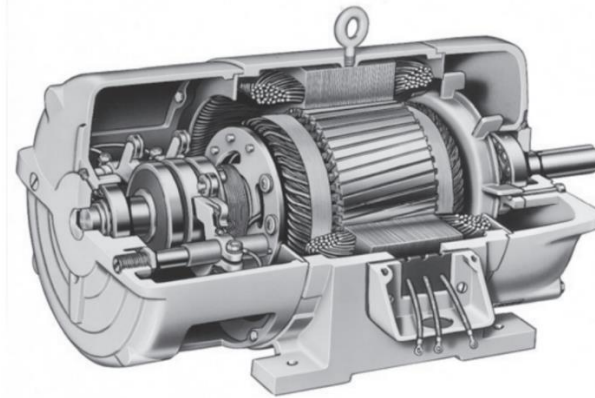
Entrando em aspectos construtivos, dos motores de indução trifásicos, encontra-se dois tipos de construção predominantes. O motor trifásico com rotor gaiola de esquilo mostrado na figura 4, que basicamente apresenta um estator com enrolamentos trifásicos e um rotor com uma determinada quantidade de barras, que são interligadas, por anéis, sendo fabricadas com alumínio fundido (Petruzella, 2013). O motor trifásico com rotor bobinado apresentado na figura 5, sendo composto por um estator com enrolamentos trifásicos e um rotor com bobinas, que são conectadas ao meio externo por escovas, destacando a vantagem de possuir uma corrente de partida mais suave em comparação aos motores com rotor gaiola de esquilo (Nascimento Júnior, 2011). Conforme as Figuras 4 e 5, apresentamos dois modelos construtivos.

Figura 4 - Vista em corte de um motor trifásico com rotor gaiola de esquilo



Fonte: Chapman (2013)

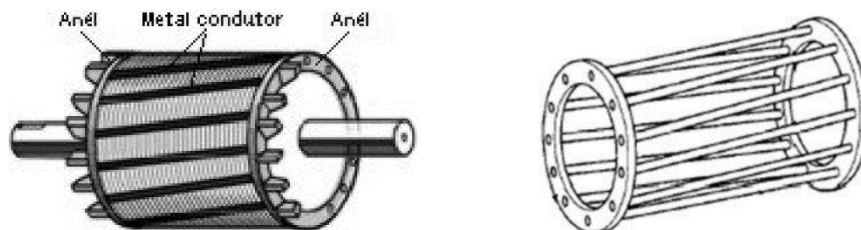
Figura 5 – Vista em corte de um motor trifásico com rotor bobinado



Fonte: Chapman (2013).

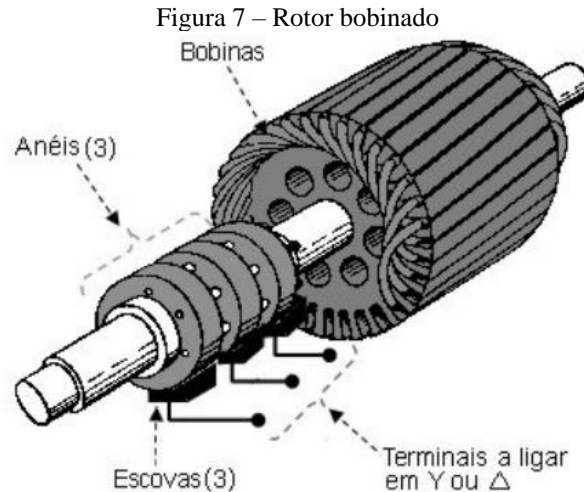
O rotor gaiola de esquilo, é o mais comumente utilizado para a construção de motores CA, sendo inclusive o modelo a ser trabalhado neste estudo. Composto por barras condutoras curto-circuitadas por anéis, com leve inclinação nas barras para melhoramento do arranque e menor ruído, podendo ser em pequenos motores, de forma maciça, assim não possuindo ranhuras para as barras. Motores com o rotor gaiola de esquilo conforme mostrado na Figura 6 são considerados robustos, não precisando de muita manutenção (Francisco, 2006).

Figura 6 - Rotor gaiola de esquilo



Fonte: Francisco (2006)

O rotor bobinado é menos utilizado, sendo apresentado como um rotor com enrolamentos trifásicos, que são conectados à rede trifásica, por meio de escovas. Em geral, demonstram uma capacidade para elevadas potências, contribuindo para um elevado binário de forças, sendo então uma escolha para elevadas cargas e inércias. Ainda permite arranques suaves e de forma progressiva por meio de resistências ligadas em série. Apesar, de possuir algumas vantagens, os motores CA fabricados com rotor bobinado, como mostrado na Figura 7, possuem um alto custo e pouca eficiência, se comparados com os motores CA com rotor gaiola de esquilo.



Fonte: Francisco (2006)

Ainda na classificação de motores de corrente alternada (CA), temos os motores monofásicos, que usam em sua estrutura enrolamentos, para apenas uma fase e um enrolamento auxiliar, que proporcionará o conjugado de partida. Devido ao campo magnético fabricado, por apenas uma fase, ser pulsante, fazendo com que o motor não consiga, desempenhar um torque de partida, para rotacionar o rotor. Segundo Petruzella (2013) grande maioria dos motores monofásicos usados são, com rotor gaiola de esquilo.

Existe outra classe de motores CA, chamados de motores síncronos, podendo ser monofásicos ou trifásicos. Definidos como motores, em que apresentam um rotor com velocidade idêntica, ao campo girante produzido no estator (Franchi, 2008). Diferente dos motores de indução, que apresentam uma não sincronização da velocidade do rotor com a do campo girante no estator. Com relação a sua estrutura, Nascimento Júnior (2011) informa que o motor síncrono, possui um enrolamento trifásico em seu estator e um enrolamento de corrente contínua no rotor. Fazendo com que seja aplicado uma tensão contínua no rotor, por consequência produzindo um campo magnético fixo, que será responsável por seguir o campo girante no estator de forma exata.

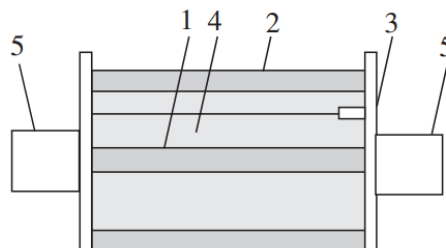
Fora essas caracterizações de motores elétricos, ainda podem ser encontrados motores que alteram a sua velocidade, como principal exemplo, tem-se o motor *dahlander*. Possuindo, duas velocidades, por meio de diferentes enrolamentos em sua estrutura, sendo possível fazer a troca dos enrolamentos a serem usados, alterando sua quantidade de polos, com isso alterando sua velocidade.

3.2 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO ELÉTRICA, CONCEITOS E APLICAÇÕES

Em termos de proteção elétrica, com o objetivo de preservar a fiação que compõe o sistema elétrico existente, é apresentado um dispositivo denominado fusível, destinado a proteção contra curto-circuito e sobrecarga. Como é informado por Franchi (2008), o fusível é basicamente um elo entre dois contatos, bem dimensionado, que se abre na ocorrência de alguma falha de sobrecorrente, para a qual foi projetado, interrompendo o circuito.

Em aspectos construtivos de acordo com Cotrim (2009), os dispositivos fusíveis são compostos de forma geral por fusível, a parte substituível em que se constitui um elemento fusível, sendo basicamente um fio ou uma lâmina, que se parte quando é percorrido por uma corrente que ultrapassa o seu valor especificado. A base, sendo a parte de fixação e com os contatos e terminais. O indicador que apresenta se o dispositivo fusível foi operado. O percussor responsável por acionar dispositivos auxiliares, para possível ação, como intertravamento. O porta-fusível, parte móvel onde se instala o fusível. Na Figura 8 apresenta-se uma ilustração, de um fusível genérico e seus elementos internos.

Figura 8 – Fusível e seus elementos internos



Legenda:

1. elemento fusível
2. corpo
3. indicador de interrupção
4. meio extintor
5. terminal

Fonte: Cotrim (2009)

O fusível tem várias variações, apresentando mudanças em sua forma e tempo de ação, apresentando tempos de ação retardada, usado para acionamento de motores de indução, tempo de ação média e tempo de ação ultra rápida, dentre outras. As duas variações mais comuns para aplicações industriais, comerciais e residenciais são os fusíveis *diazed* e *neozed*, sendo que a principal diferença entre ambos, é pelo *neozed* apresentar um tamanho reduzido comparado a outros fusíveis de mesma capacidade. A Figura 9 mostra o fusível *diazed* enquanto a Figura 10 apresenta o fusível *neozed*.

Figura 9 – Fusível diazed



Fonte: Eletrorastra (2024)

Figura 10 – Fusível neozed



Fonte: Eletrorastra (2024)

Existem ainda, diversos dispositivos de proteção, entre eles os mais utilizados no acionamento de motores elétricos de indução, são os relés de sobrecarga, também conhecidos como relés térmicos e outro dispositivo muito empregado são relés falta de fase. O relé de sobrecarga é destinado a proteção de motores por sobrecarga, que basicamente pode ser definido como um superaquecimento dos enrolamentos do motor, que suportam até determinada temperatura e por tempo limitado. Acima dessas especificações, ocorre o que é definido como uma deterioração, da capacidade dielétrica dos enrolamentos, acontece a perda da isolação dos enrolamentos. Deste modo, o relé de sobrecarga precisa atuar antes que ocorra a deterioração, contribuindo para uma maior vida útil dos componentes do circuito (Franchi, 2008).

Como Franchi (2008) menciona, o relé de sobrecarga funciona com base na emulação de um modelo térmico do motor em questão. De modo que essa emulação é feita por um bimetálico, com dois metais com diferentes coeficientes de dilatação, possuindo um enrolamento de aquecimento em cada bimetálico, conectados em série com cada fase que vai para o motor. Com a deformação deste bimetálico, ao ponto em que se chegue em um estado determinado, acontece a abertura dos contatos principais de força que vão para o motor e

abertura de contatos auxiliares disponíveis no relé de sobrecarga, conforme apresentado na Figura 11

Figura 11 – Relé de Sobrecarga



Fonte: WEG (2024)

O relé falta de fase, também é um componente bastante usado, tem como principal função como nos informa Franchi (2008), a detecção da falta de uma ou mais fases, em alguns casos até a detecção da falta do neutro. Com o reconhecimento da falta de alguma fase ou neutro, o relé falta de fase desliga um contato, informando para outro sistema no acionamento, a presença de um problema no fornecimento de energia elétrica ao motor, assim com essa informação é realizada alguma ação, como a abertura dos contatos de força do motor, conforme mostrado na Figura 12.

Figura 12 – Relé Falta de Fase

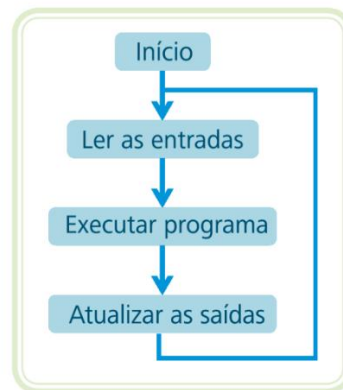


Fonte: Mercado livre (2024)

3.3 DISPOSITIVOS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO, CONCEITO E APLICAÇÃO

Entre os dispositivos de automação, temos o que pode ser chamado “cabeça” dos sistemas automatizados, este é o CLP, abreviação para controlador lógico programável. Para Roggia e Fuentes (2016), o controlador lógico programável é um equipamento que possui entradas e saídas que se comunicam com o meio externo por protocolos de comunicação, podendo receber informações de outros dispositivos, como também enviar informações para o acionamento de atuadores. É um equipamento que conta com *hardware* e *software* desenvolvido especialmente para aplicações industriais. Além de poder ser programado com uma linguagem de programação, para executar diferentes ações, incluindo a execução de contagem, de temporização, e funções lógicas. O funcionamento do CLP, tem como base varreduras das entradas e saídas, de forma sequencial em ciclos, onde o tempo que leva para a finalização de cada ciclo é denominado de *CLOCK* (SILVA, 2007). A seguir é mostrado um fluxograma do funcionamento de um controlador lógico programável na Figura 13 e depois um CLP comum na Figura 14.

Figura 13 – Ciclo de Varredura de um CLP



Fonte: Roggia e Fuentes, 2016.

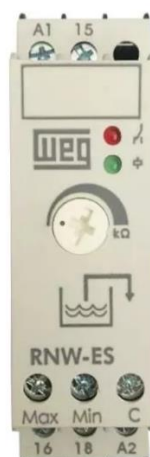
Figura 14 – Controlador Lógico Programável (CLP)



Fonte: Mercado livre (2024).

Outro equipamento muito usado, para a automação de bombeamento é o relé de nível, empregado comumente para o esvaziamento de um reservatório. Seu funcionamento se dá basicamente pelo princípio de condução elétrica de um fluido. É colocado no reservatório a ser monitorado, três eletrodos que são basicamente pinos de aço inoxidável, representando o nível máximo, mínimo e comum. O eletrodo comum, por sua vez, injeta uma pequena corrente elétrica no fluido, de modo que seja detectada pelos eletrodos máximo e mínimo, e que quando detectada, o sinal chegue ao relé de nível e seja realizada alguma ação. No caso do esvaziamento de um reservatório, quando for detectado corrente no eletrodo de nível máximo, o contato normalmente aberto do relé fecha, fazendo um acionamento de uma bomba d'água por exemplo, e quando acontecer de o eletrodo de nível mínimo não detectar nenhuma tensão, o contato abre, desse modo indicando que o reservatório está seco e não pode ser feito o bombeamento do fluido. É apresentado um relé de nível na Figura 15, com o propósito anteriormente explicado.

Figura 15 – Relé de Nível WEG



Fonte: Mercado livre (2024).

Vale ressaltar ainda, um equipamento de uso comum em sistemas automatizados, onde necessita de um monitoramento adequado do processo, este dispositivo é denominado interface homem-máquina, abreviada por IHM, mostrada na Figura 16. A IHM é um dispositivo que consiste em uma tela, que exibe informações do processo automatizado, e que pode também exercer algumas funções de comando para controle do processo, mas que não controla efetivamente o processo, sendo o encarregado dessa função o CLP. Este dispositivo também pode contar com tela sensível ao toque, para melhorar ainda mais a interação entre o ser humano e a máquina, e podendo também já incluir um CLP integrado, fazendo o sistema completo em um único lugar.

Figura 16 – Interface Homem-Máquina (IHM)



Fonte: Sotta (2024).

3.4 NORMAS TÉCNICAS PARA INSTALAÇÃO ELÉTRICA E MOTORES ELÉTRICOS

Para a realização de instalações elétricas e seu devido dimensionamento, devemos seguir normas estabelecidas pelos órgãos regulamentadores. De modo que o serviço realizado, não venha a causar acidentes e mau funcionamento dos circuitos, com isso existem normas específicas para regulamentação da instalação elétrica. Para baixa tensão, sendo abaixo de 1000V, a norma regulamentadora para instalações elétricas é a NBR 5410. A NBR 5410 basicamente estabelece condições de instalação que devem ser seguidas para assegurar a segurança de pessoas e animais, o adequado funcionamento da instalação e a conservação dos bens instalados (ABNT, 2004).

A norma NBR 5410 se aplica principalmente em instalações elétricas de edificações, onde possua uma tensão nominal menor que 1000 V em corrente alternada com frequência inferior a 400 Hz e menor que 1500 V em corrente contínua (ABNT, 2004).

Para proteção preventiva e medidas de segurança, temos a norma NR 10 que estabelece requisitos e condições mínimas, para a prevenção de acidentes, assegurando a segurança e a saúde do trabalhador que interage, direta ou indiretamente, em instalações elétricas com a determinação de medidas de controle e sistemas preventivos (MTE, 2004).

A NR 10 se aplica a todas as etapas de projetos elétricos, e em sistemas de geração, consumo, transmissão e distribuição elétrica. Sendo aplicada também a serviços que sejam realizados próximos a instalações elétricas.

Para regulamentação dos motores de indução trifásicos, temos a norma NBR 17094 (ABNT, 2018), que especifica os requisitos dos motores, condições de operação e seus métodos de ensaio para registro do desempenho. Além disso também regulamenta as informações que devem constar nas placas de identificação do motor. Outra norma, desta vez, internacional empregada para regulamentar os motores elétricos é a IEC 60034-1 (IEC, 2010), onde consta a classificação de todos os motores elétricos alimentados pela rede elétrica, como também a tensão, frequência e velocidade nominais destes motores, onde incluem motores de indução monofásicos e trifásicos.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos metodológicos, materiais e métodos utilizados para alcançar os objetivos estabelecidos no capítulo anterior.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Observando-se a demanda de dados primordialmente de forma numérica e estatística, para a elaboração e realização do trabalho disposto, tem-se assim por classificar o estudo como sendo quantitativo. O cerne principal é adquirir uma percepção da situação atual do sistema, para a prospecção de uma nova implementação, utilizando-se da clareza e factualidade dos dados quantitativos.

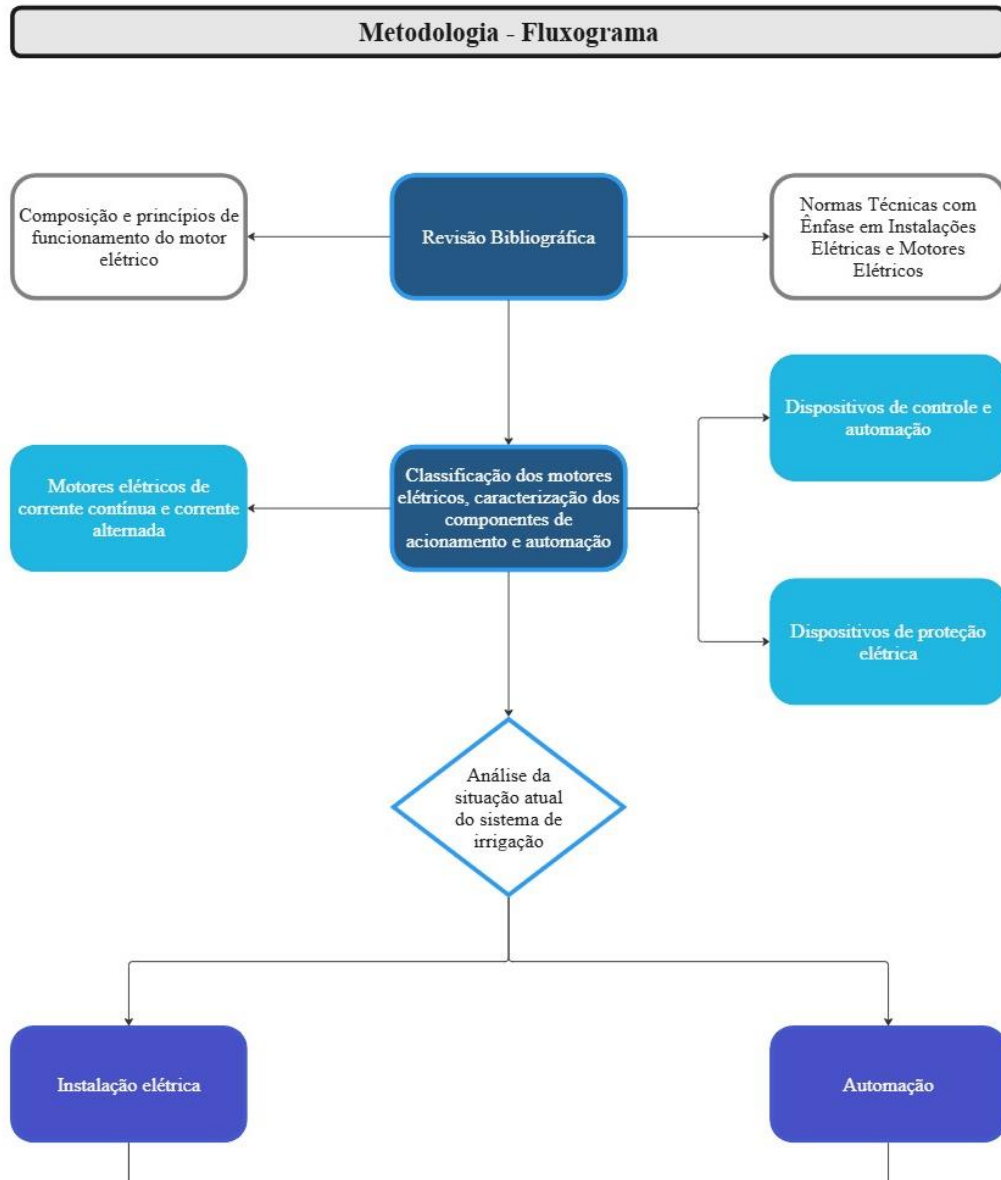
Além disto, este estudo de caso tem por objetivo dimensionar uma normatização da parte elétrica do sistema de irrigação, e projetar uma automação para esta atividade. Salienta-se que o estudo almeja contribuir para a solução do problema específico apontado neste estudo, ficando a critério do proprietário da irrigação seguir com a implementação do sistema aqui proposto. Com esse cenário, a classificação deste estudo será, respectivamente, como sendo descritiva, aplicada e bibliográfica.

O estudo descritivo, busca em sua essência a coleta de dados de um determinado fenômeno, realidade ou situação, estabelecendo uma conexão entre as variáveis, exemplificando-nos de forma concreta o que está sendo analisado. De outro modo, o estudo aplicado visa a elaboração de conhecimentos para a solução de problemas específicos, de forma que tenham uma aplicação imediata e prática. Para concluir, tem-se a pesquisa bibliográfica que se sustenta na compreensão e interpretação de forma criteriosa, de matérias diversos que sejam reconhecidos, por livros, artigos científicos e relatórios, objetivando um alicerce sólido e confiável para a sustentação do estudo tratado.

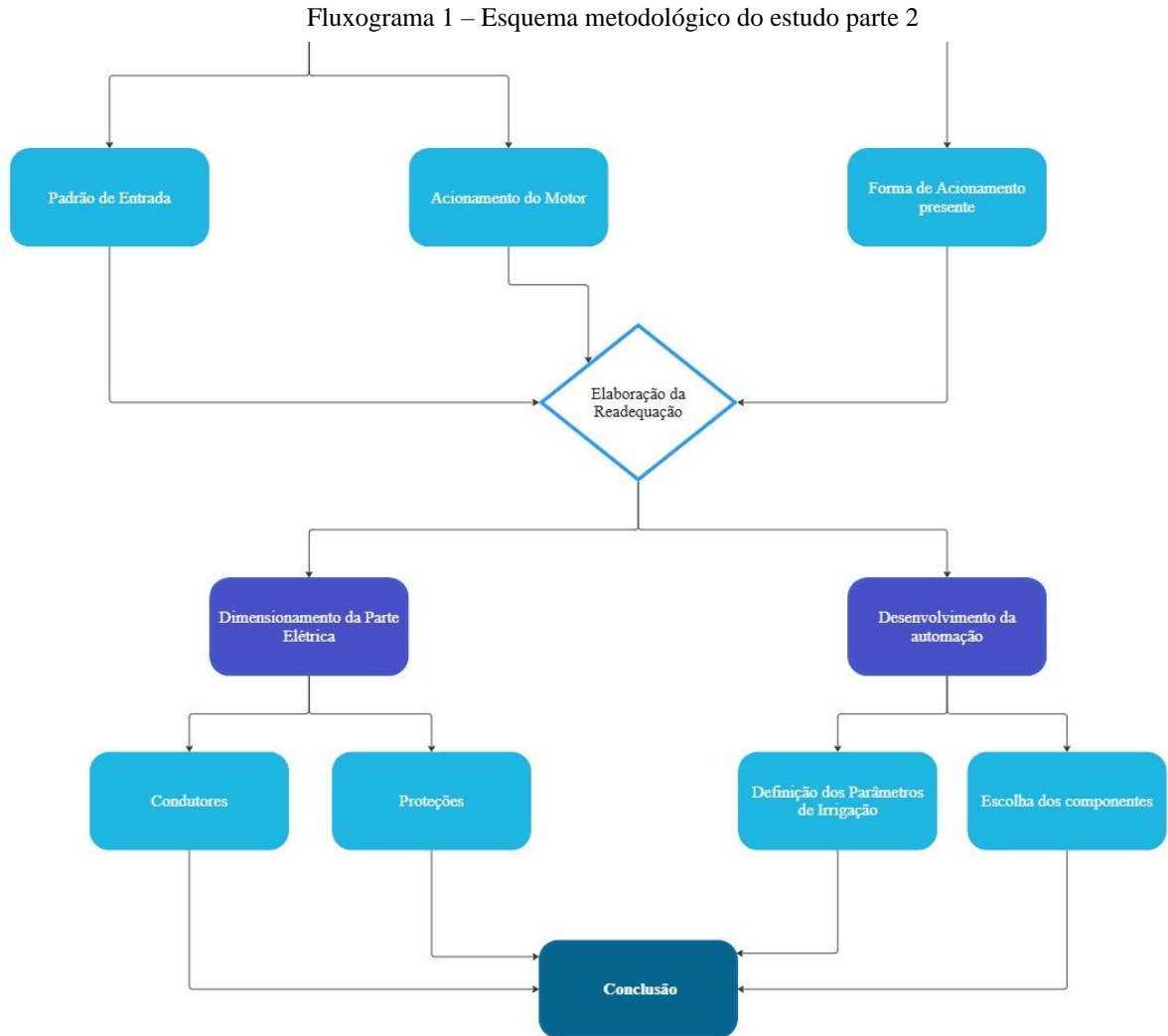
As classificações aqui especificadas são de extrema importância para o estudo disposto, de modo que permitem fabricar um guia, para a condução dos trabalhos que serão desempenhados, contribuindo para o desenvolvimento de uma sustentação forte para metodologia e uma melhor assimilação dos dados coletados.

Com a função de oferecer um caminho detalhado, com uma representação visual clara e enxuta do trajeto a ser percorrido para atingir os objetivos determinados neste estudo, apresenta-se no Fluxograma 1, um itinerário estabelecido para cumprir as etapas do trabalho.

Fluxograma 1 - Esquema metodológico do estudo parte 1



Fonte: Autoria própria (2024)



Fonte: Autoria própria (2024)

4.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

Na abordagem metodológica, serão explorados os conceitos e técnicas para os métodos de análise da situação, bem como ferramentas utilizadas para a adequação do sistema de acionamento elétrico da irrigação e elaboração de sua automação.

Os títulos, apresentam a base teórica que servirá de sustentação para todo o estudo, de modo que será exposto, os princípios de cada conceito a ser trabalhado no decorrer do trabalho. Em um primeiro momento será realizado a pesquisa bibliográfica do conteúdo teórico, de modo a abranger os assuntos pertinentes ao trabalho, incluindo desde o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos motores elétricos até as definições dos componentes mais utilizados em projetos de comandos elétricos e automação.

Após a pesquisa bibliográfica, parte-se para a análise situacional do sistema presente na irrigação, onde será realizado uma vistoria completa dos componentes presentes no sistema,

como também medições com alicate amperímetro para coleta de dados de corrente de partida, corrente nominal e tensão disponível da rede no acionamento do motor, detectando se há presença de queda de tensão considerável. Avaliando desta maneira, mais profundamente a forma de acionamento do motor e os mecanismos de aspersão.

A partir da análise dos mecanismos existentes, é elaborado uma forma de readequação de toda a parte elétrica e a formulação de automação para o sistema, incluindo dimensionamento dos condutores, componentes de partida e acionamento, dispositivos de controle, sensores e componentes de proteção, respeitando as delimitações exigidas para a irrigação. Após a elaboração das correções e implementações será reunido todos os dados coletados, para a constituição de uma conclusão e observações a serem consideradas para a implementação do sistema desenvolvido na prática.

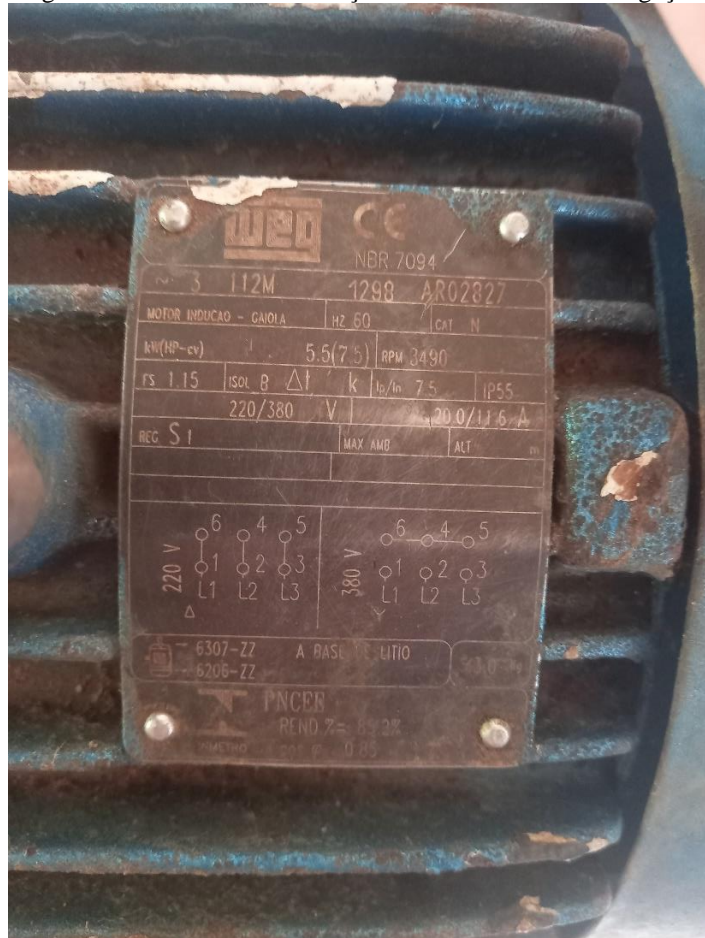
5 LEVANTAMENTO DA PROBLEMÁTICA

Neste capítulo será exposto as problemáticas, que o respectivo trabalho visa solucionar suas inadequações e aplicar um processo de automação em ambas, de modo que com essas correções o sistema esteja apto a funcionar de maneira adequada e ampliada para uma aplicação de irrigação mais autônoma.

5.1 PROPOSTA DE PROBLEMÁTICA 1

A problemática de objeto de estudo, gira em torno de um sistema de irrigação instalado de forma precária com as normas técnicas vigentes, de modo que apresentam irregularidades como acionamento de partida do motor sendo de forma direta, quando necessitaria de uma partida suave para a correção da corrente de partida do motor, que no caso a ser apresentado, é um motor de 7,5 CV, como consta na Figura 17, sua placa de identificação. Na Figura 18 também se vê o motor WEG usado por inteiro.

Figura 17 – Placa de Identificação do Motor Usado na Irrigação



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 18 – Motor WEG de 7,5CV



Fonte: Autoria própria (2024).

Observando o acionamento do motor, identifica-se o acionamento por chave de partida de forma direta, como segue na Figura 19.

Figura 19 – Chave de Partida



Fonte: Autoria própria (2024).

Como é constatado com as imagens, o motor apresenta uma instalação sem aterramento devido e com apoio mecânica de fixação frágil. A automação não está presente no sistema de irrigação atual, fazendo seu acionamento ser de forma manual. A entrada da rede elétrica

trifásica ao local do motor, apresenta irregularidade com as normas, sendo por meio de um cano de PVC comum curvado, como consta na Figura 20.

Figura 20 – Entrada da Rede Trifásica



Fonte: Autoria própria (2024).

Outros pontos interessantes de serem corrigidos para um melhor funcionamento do sistema com um todo, diz a respeito da parte mecânica que encontra-se em problemas recorrentes de entrada de ar em seu sistema, fazendo com que a bomba não consiga exercer a sua completa vazão ou até mesmo pare de bombear água, ainda nesta parte encontramos também problemas no encanamento como vazamentos e avarias em alguns aspersores, sendo interessante a revitalização do sistema de forma completa, tanto da parte elétrica como da parte mecânica. Na Figura 21 é mostrado uma visão geral do local e da fonte de água, que no caso é um “Cacimbão”. Na Figura 22 é mostrado o poste de onde, deriva-se a rede trifásica para o fornecimento de energia.

Figura 21 – Visão Geral do Local



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 22 – Derivação de Rede Trifásica para o Fornecimento de Energia



Fonte: Autoria própria (2024).

O fio utilizado para o sistema atual é um fio rígido de classificação AWG, de forma que não se conhece a sua categoria. Para efeito de cálculos futuros de queda de tensão e desempenho da rede elétrica fornecida ao motor, na Figura 23 apresenta-se a distância do transformador para o local do motor elétrico, de forma que o transformador é particular para a propriedade. A distância resultante é de aproximadamente 191,28 m.

Figura 23 – Distância do Transformador para o Motor



Fonte: Google Maps (2024).

Voltando-se para a entrada da rede, temos como proteção e manobra um disjuntor de 50A classe C, como é mostrado na Figura 24. Na Figura 25 vê-se onde o transformador, medidores e disjuntor geral estão instalados.

Figura 24 – Disjuntor Geral do Sistema



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 25 – Poste de Derivação Principal



Fonte: Autoria própria (2024).

5.2 PROPOSTA DE PROBLEMÁTICA 2

O objeto de estudo deste trabalho gira em torno, da correção e implementação de uma automação ao sistema de bombeamento de água para a população localizada na zona rural do sítio Dois Riachos, município São Francisco. Analisando o sistema atual implementado, constata-se algumas irregularidades perante a norma. Apresentando o sistema atual, temos um motor com bomba de 5 CV acionado por partida direta com chave de partida. Na Figura 26 é mostrado a placa de identificação do motor utilizado.

Figura 26 – Placa de Identificação do Motor



Fonte: Autoria própria (2024).

A chave de partida utilizada para o acionamento do motor é mostrada na Figura 27, como também o padrão de entrada com disjuntor trifásico de 50 A e com a utilização para a entrada de cabo multiplexado trifásico de seção de 16 mm².

Figura 27 – Acionamento do Motor



Fonte: Autoria própria (2024).

Como é observado na Figura 27, apresenta-se irregularidade na instalação da chave de partida e disjuntor, sendo ambos contidos em um “balde” recortado. Ainda pode ser observado também o acionamento manual utilizado, não constando nenhum tipo de automação. O poste de derivação da rede trifásica, apresenta não conformidade com a norma, de forma que é um poste de madeira e com rede elétrica baixa. Na Figura 28 é mostrado a derivação da rede de energia elétrica trifásica.

Figura 28 – Derivação da Rede Trifásica



Fonte: Autoria própria (2024).

Para uma visão geral do sistema atual presente, tem-se na Figura 29 o motor e sua instalação ao solo e na Figura 30 a fonte água usada que é um “cacimbão”. Vale salientar-se que o sistema de abastecimento de água é feito por dois sistemas desse apresentado aqui, não registrado o outro sistema, pois apresenta igualdade com esse apresentado, diferindo somente a fonte de água que é outro “cacimbão”.

Figura 29 – Instalação do Motor



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 30 – Fonte de Água Usada

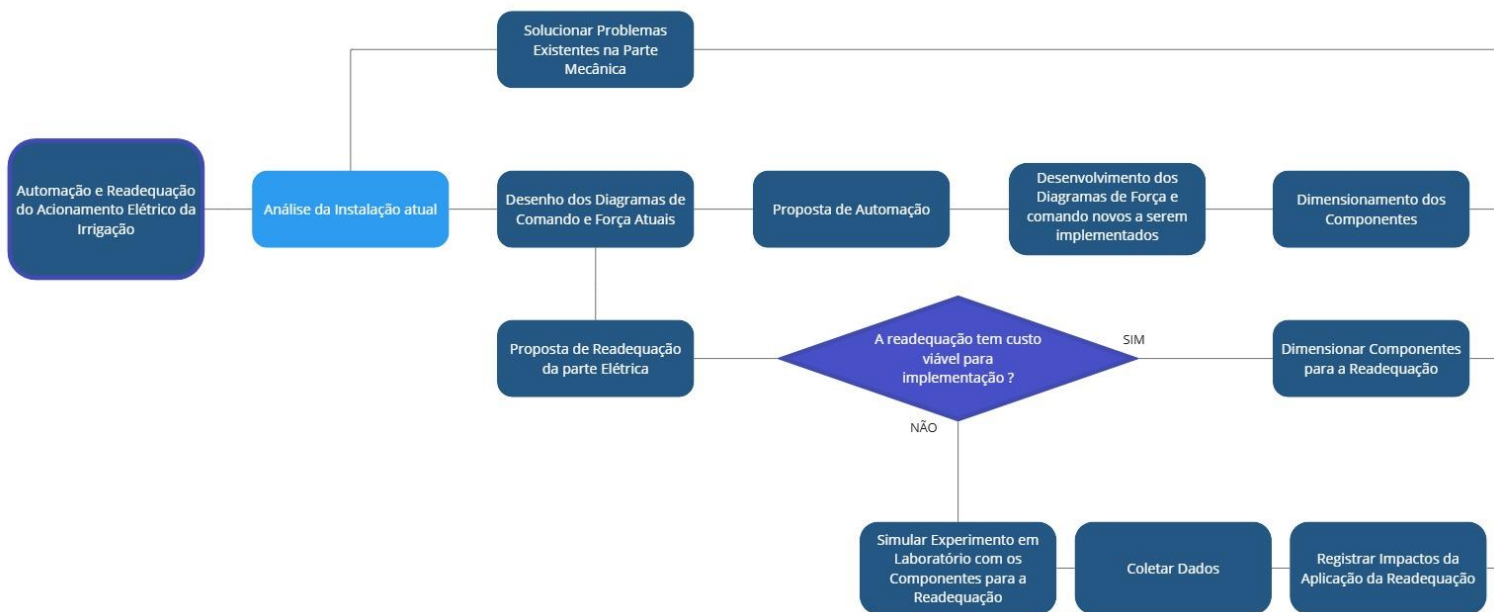


Fonte: Autoria própria (2024).

6 EXPOSIÇÃO DO TRAJETO A SER PERCORRIDO

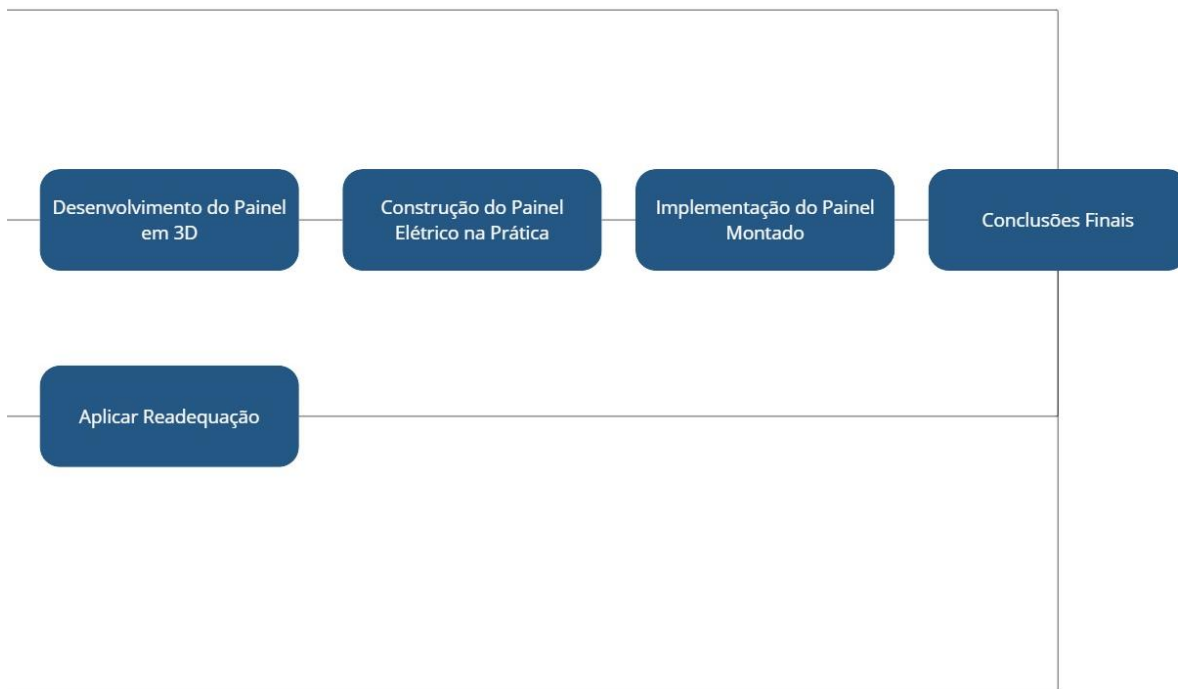
Com o levantamento da problemática nos tópicos anteriores, é traçado um diagrama de blocos, de modo que venha a trazer clareza nos passos a serem desenvolvidos no decorrer do trabalho, derivando inicialmente da ideia central de readequação e aplicação da automação a problemática apresentada, criando ramos de atividades para atingir este objetivo central, assim o respectivo diagrama sinóptico é apresentado no Fluxograma 2.

Fluxograma 2 – Diagrama sinóptico da trajetória do trabalho parte 1



Fonte: Autoria própria (2024).

Fluxograma 2 – Diagrama sinóptico da trajetória do trabalho parte 2



Fonte: Autoria própria (2024).

7 ANÁLISE E RESULTADOS DA SITUAÇÃO ATUAL

A seguir são dispostos os dados obtidos em campo, com o uso de um alicate amperímetro Hikari HA-3120. As medições constam na Tabela 1, onde se apresenta as tensões de fase-fase e corrente das fases A, B, C sendo nos seguintes pontos, no poste do quadro elétrico e na partida direta do motor.

Tabela 1 – Medições realizadas em Campo

MEDIÇÕES NO POSTE				MEDIÇÕES NO MOTOR			
TENSÃO	RESULTADO	CORRENTE	RESULTADO	TENSÃO	RESULTADO	CORRENTE	RESULTADO
AB	416V	A	12,67A	AB	413V	A	12,76A
BC	419V	B	12,36A	BC	416V	B	11,75A
CA	415V	C	10,66A	CA	416V	C	13,06A

Fonte: Autoria própria (2024)

Com os respectivos valores tabelados obtidos por meio de medição prática, o cálculo da queda de tensão no sistema é dado pela Equação 1.

$$\Delta V_{AB} = \frac{416V - 413V}{416V} \times 100 \quad (1)$$

$$\Delta V_{AB} = 0,72\%$$

$$\Delta V_{BC} = \frac{419V - 416V}{419V} \times 100$$

$$\Delta V_{BC} = 0,72\%$$

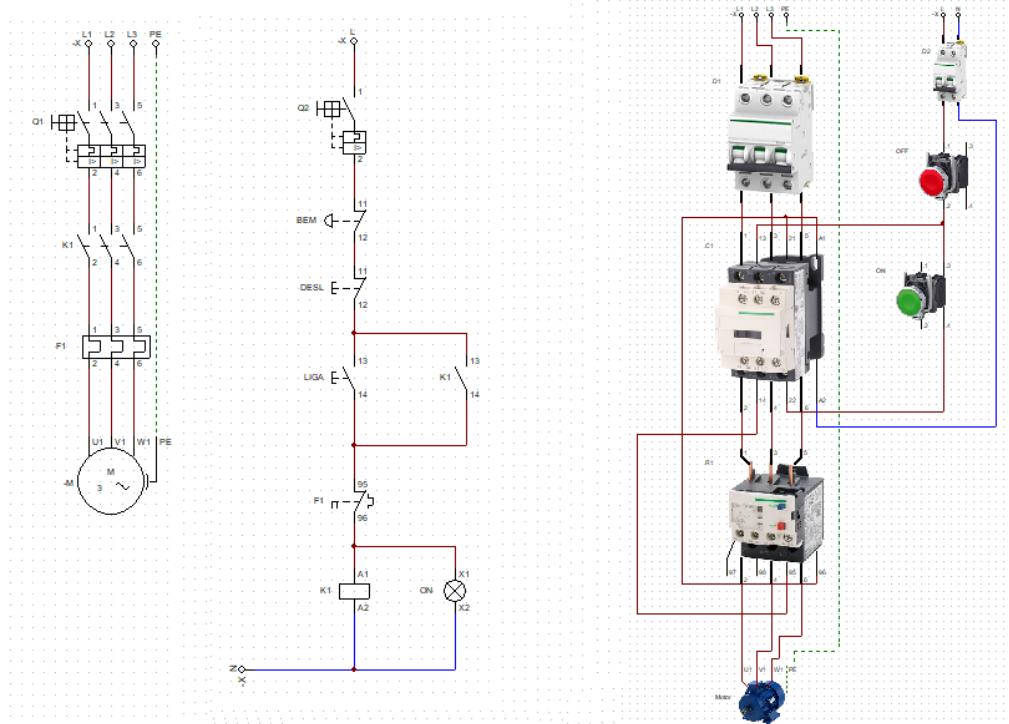
$$\Delta V_{CA} = \frac{416V - 415V}{416V} \times 100$$

$$\Delta V_{CA} = 0,24\%$$

Com o desenvolvimento dos cálculos acima, concluímos que a queda de tensão está dentro do que é permitido na concessionária de energia elétrica, que pode chegar a valores percentuais de até 4% de queda de tensão do quadro para a carga.

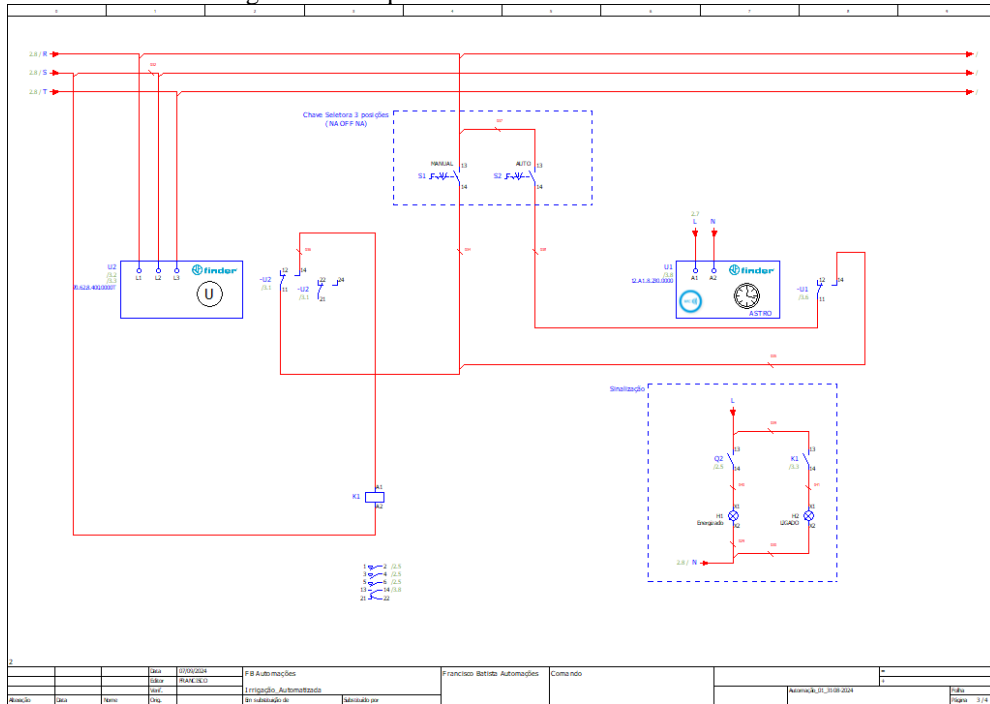
A instalação elétrica do motor agora, é mostrada na Figura 31 em 2d e 3d, onde o esquemático foi produzido via software CAD SIMU 4.0.

Figura 31 – Esquema elétrico da Partida Direta 2d e 3d



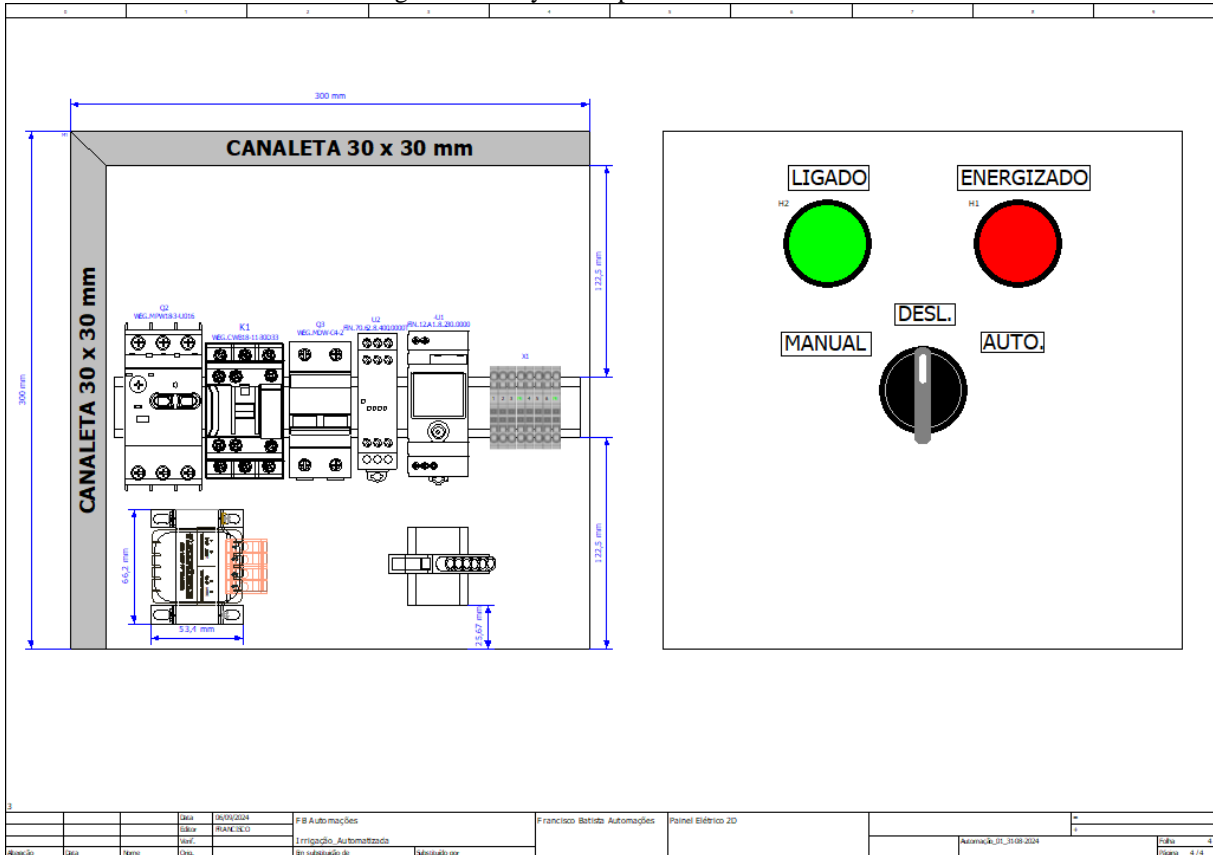
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 33 – Esquema elétrico do comando multifilar



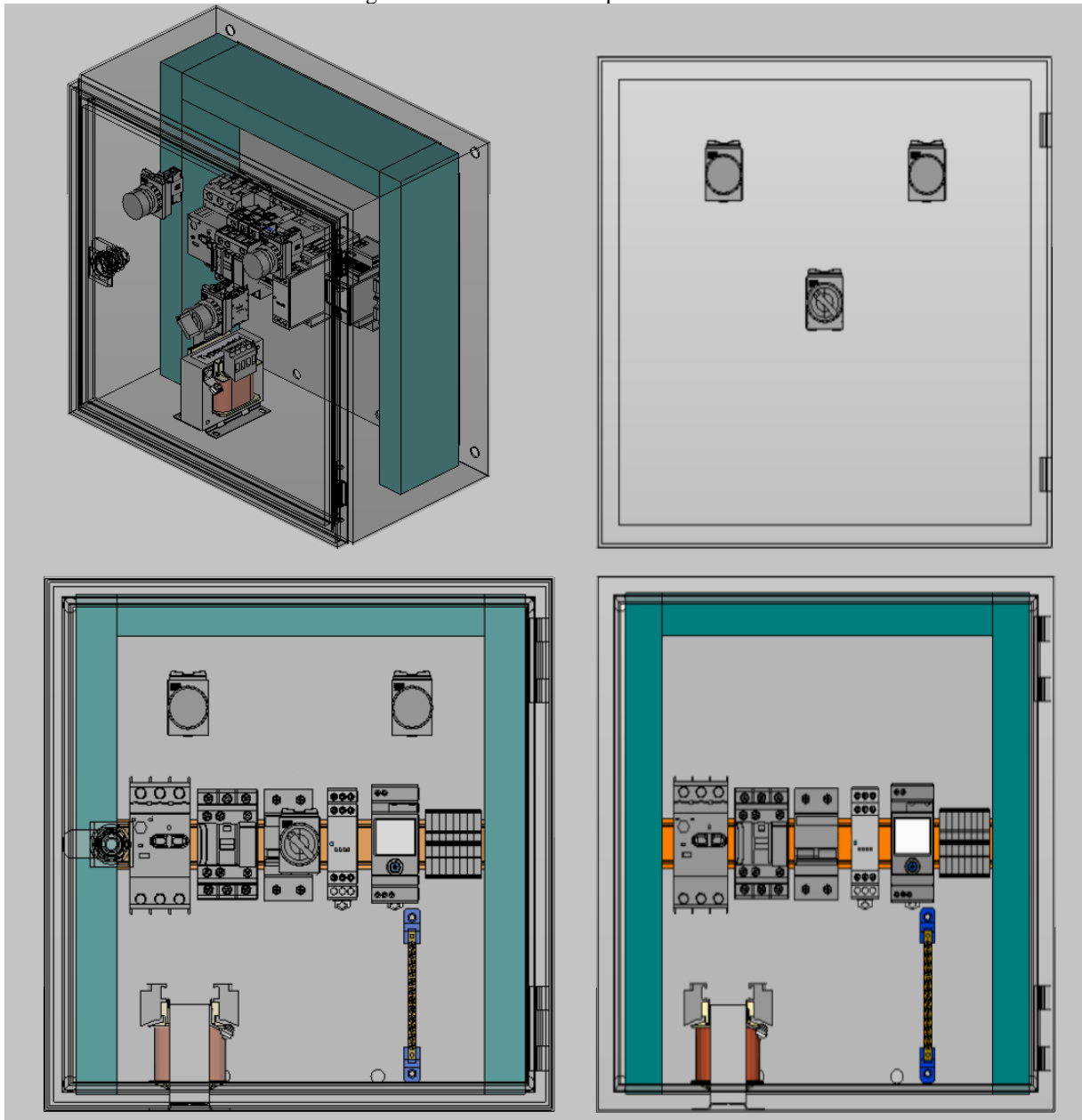
Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 34 – Layout do painel elétrico em 2D



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 35 – Modelo 3D do painel elétrico



Fonte: Autoria própria (2024)

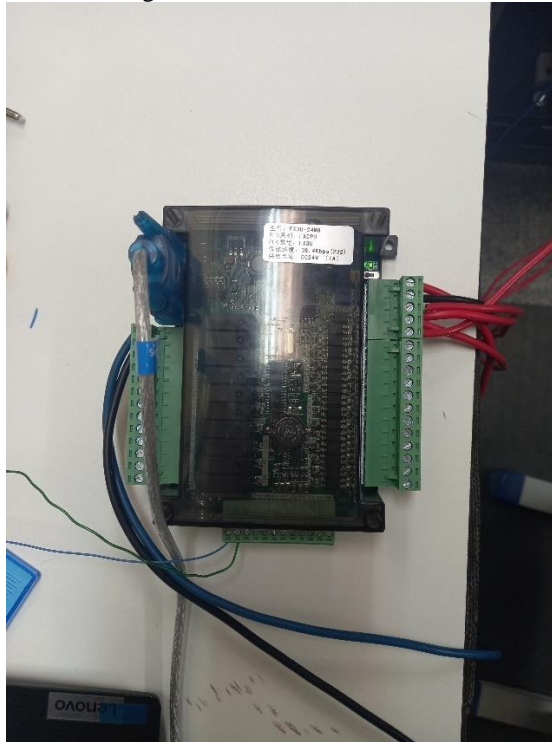
O respectivo painel elétrico apresentado anteriormente é a proposta prática, apresentada com viabilidade de construção e aplicação no local exposto da problemática, de modo que a seguir são apresentadas sugestões de automação mais sofisticadas para uma possível implementação. Assim, uma sugestão de automação mais robusta seria a implementação de um CLP para controle da irrigação, de modo que o mesmo faria leitura de sensores de umidade do solo, temperatura e umidade do ar para um melhor controle do sistema de irrigação, controlando também eletroválvulas para mudança da área de irrigação e velocidade do motor trifásico utilizado, de modo que se venha a ter um controle do fluxo de água para melhor uso da água

disponível, deste modo foi implementado nos laboratórios do IFPB – *Campus Cajazeiras*, experimentos visando elucidar essas implementações sugeridas.

8.1 EXPERIMENTO 01

No experimento 01, foi utilizado um CLP FX3U-24MR, de modo que venha a ser integrado com uma interface gráfica de supervisão Scada, com construção no VT Scada, com isso possibilitando o monitoramento e controle do acionamento do motor trifásico em partida direta de forma remota, via computador em uma rede de protocolo serial RS-485 modbus. A Figura 36 a seguir expõe o CLP utilizado.

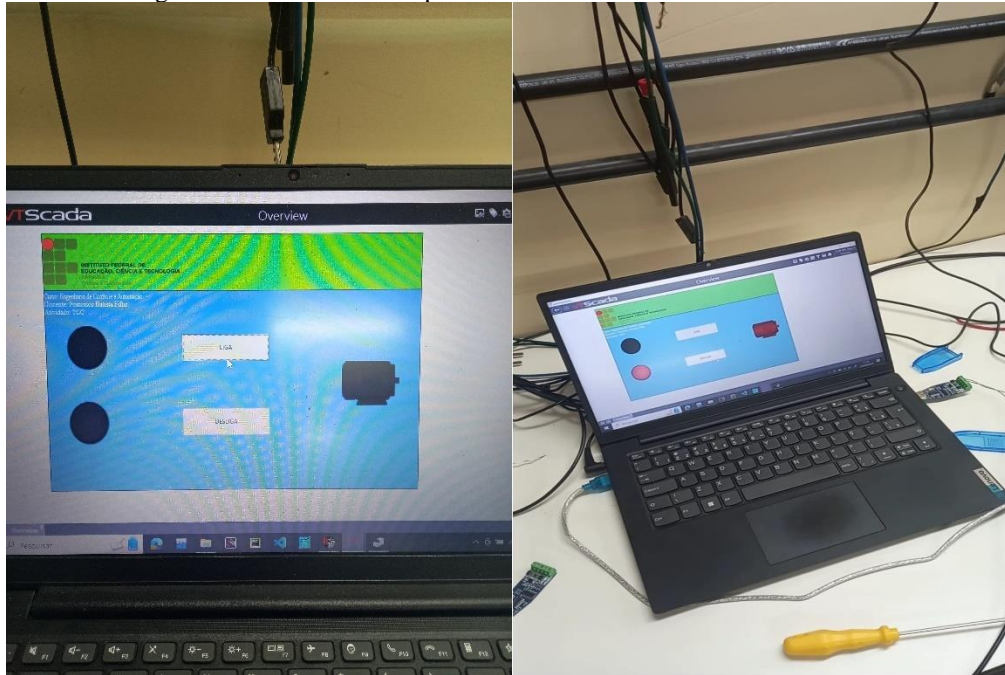
Figura 36 – CLP FX3U-24MR



Fonte: Autoria própria (2024).

A interface Scada desenvolvida no VT Scada, no primeiro experimento é composta de botões liga e desliga para acionamento do motor trifásico, com sinaleiros para indicação de ligado e energizado, como também o auxílio de ícone gráfico de motor para monitoramento do estado do motor. A interface desenvolvida é apresentada a seguir na Figura 37.

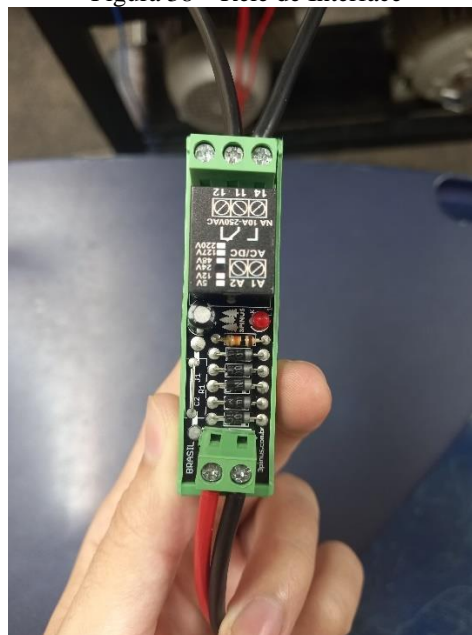
Figura 37 – Interface de Supervisão Scada Desenvolvida no VT Scada



Fonte: Aatoria Própria (2024).

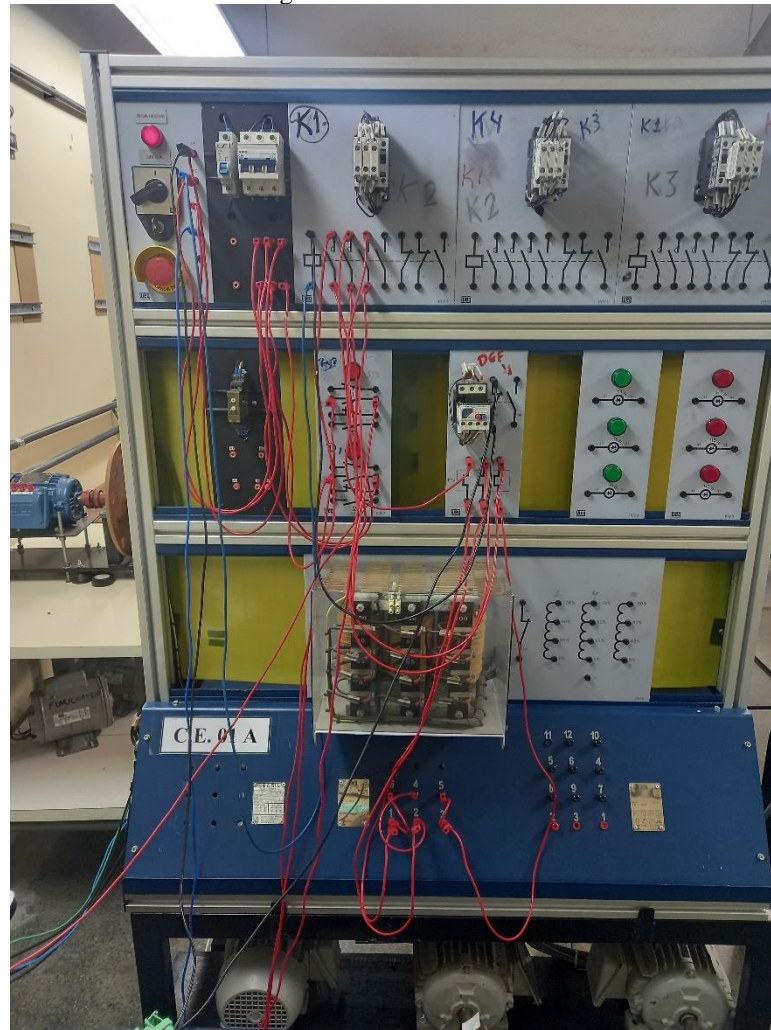
A seguir na Figura 38, temos o relé de interface utilizado para fazer o acionamento do contator da partida direta do motor trifásico, funcionando como uma ponte de força para o CLP FX3U, pois a saída do mesmo não tem capacidade de oferecer a corrente necessária para o acionamento do contator.

Figura 38 – Relé de Interface



Fonte: Aatoria própria (2024).

Figura 40 – Partida Direta



Fonte: Autoria própria (2024).

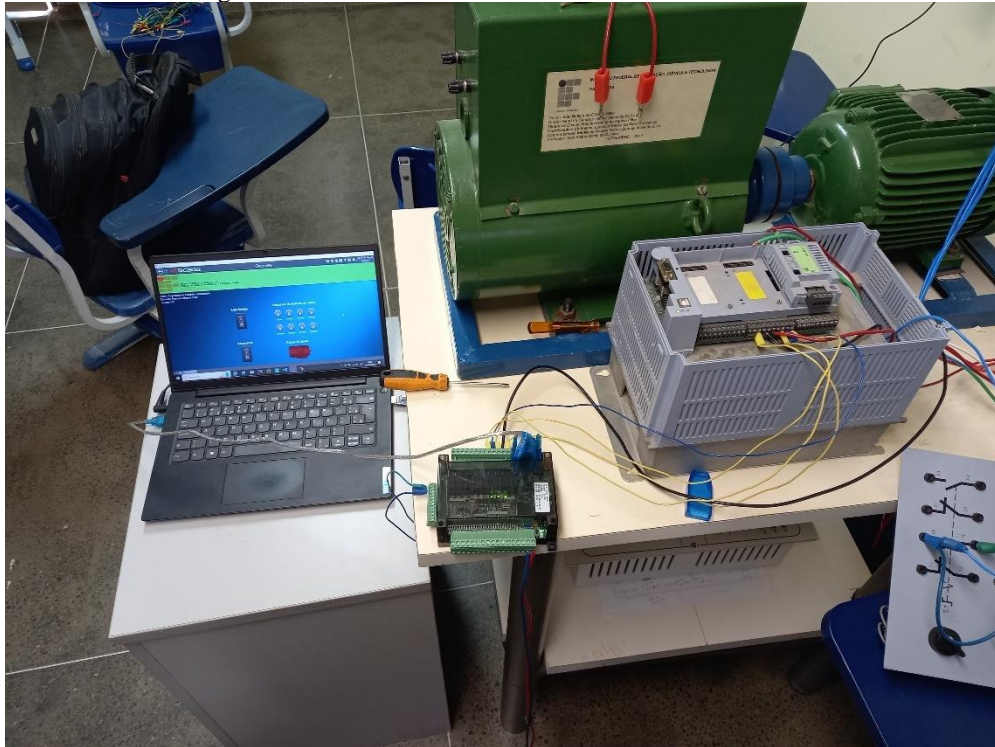
Para mais informações sobre esse experimento e visualização do sistema em funcionamento, pode ser acessado o link, abaixo para o vídeo disponível no YouTube.

Link do experimento 01 via YouTube: [https://youtu.be/KDZxUddQ_mk].

8.2 EXPERIMENTO 02

No experimento 02, foi elaborado um circuito com interface supervisória Scada, com controle da velocidade do motor trifásico, de modo que se venha a alterar o fluxo de água de um motor na prática, para este controle de velocidade do motor foi utilizado um inversor de frequência CFW-11. O circuito montado pode ser visto na Figura 41.

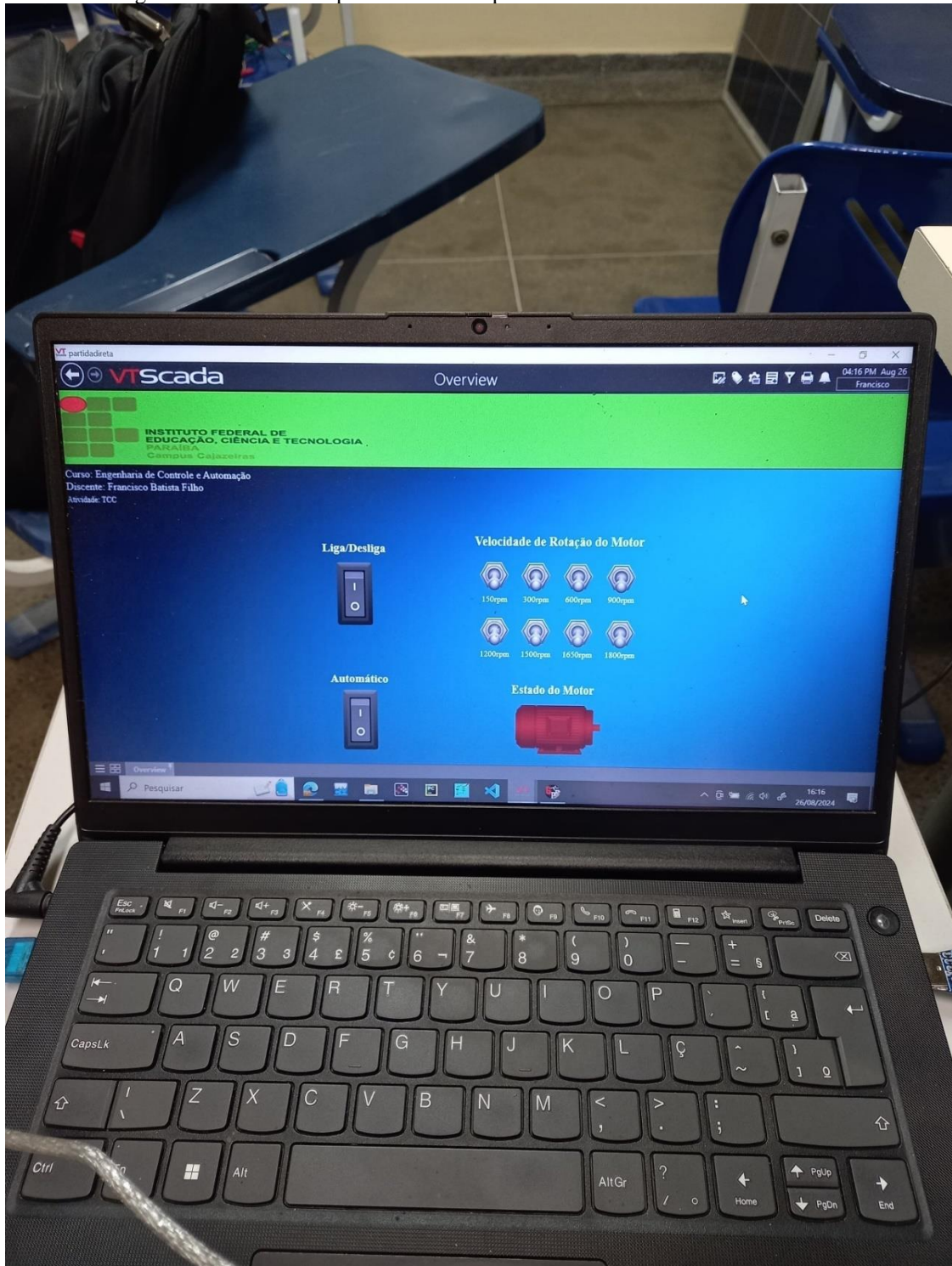
Figura 41 – Circuito de Controle da Velocidade do Motor



Fonte: Autoria própria (2024)

Na interface supervisória Scada desenvolvida, é apresentado chave liga e desliga, como também chave para alternar entre manual e automático passando para um modo de temporização semanal automática, de forma que também possui chaves para alteração da velocidade do motor de forma manual, com diferentes velocidades de rotação, até chegar na rotação máxima do motor, na Figura 42 é apresentada a interface desenvolvida no VT Scada.

Figura 42 – Interface Supervisória Scada para Controle da Velocidade do Motor



Fonte: Autoria própria (2024)

Para mais informações sobre esse experimento e visualização do sistema em funcionamento, pode ser acessado o link, abaixo para o vídeo disponível no YouTube.

Link do experimento 02 via YouTube: [<https://youtu.be/EX0Rc8GHwNc>].

9 DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

Para dimensionamento dos condutores, é apresentado o caso do transformador até a proximidade do motor, sendo o caso 1 e o caso do poste de proximidade do motor para o motor de indução trifásico, sendo este o caso 2, assim é determinado a seção do condutor em ambos os casos a seguir.

9.1 CASO 1

Para o cálculo da seção do condutor, é substituído os dados conhecidos na Equação 2:

Dados:

$$P_{\text{Alumínio}} = 0,0282\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$I_{(\text{nominal})} = 11,6\text{A}$$

$$L_1 = 191,28\text{m}$$

$$\Delta V = 3\%$$

$$V = 380\text{V}$$

$$S = \left(\frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta V \cdot V} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

$$S = \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 0,0282 \cdot 191,28 \cdot 11,6}{3 \cdot 380} \right) \cdot 100$$

$$S = 9,51\text{mm}^2$$

Com os cálculos, a seção do condutor determinada é de 10 mm², sendo do transformador até o poste de maior proximidade ao motor, para redução de custos foi calculado com cabos de alumínio, assim a sua resistividade foi aplicada a fórmula.

9.2 CASO 2

Para o cálculo da seção do condutor, é substituído os dados conhecidos na Equação 2:

Dados:

$$P_{\text{Cobre}} = 0,0172\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$I_{(\text{nominal})} = 11,6\text{A}$$

$$L_2 = 15\text{m}$$

$$\Delta V = 3\%$$

$$V = 380\text{V}$$

$$S = \left(\frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta V \cdot V} \right) \cdot 100$$

$$S = \left(\frac{\sqrt{3} \cdot 0,0172 \cdot 15 \cdot 11,6}{3 \cdot 380} \right) \cdot 100$$

$$S = 0,46\text{mm}^2$$

Com os cálculos, a seção do condutor determinada é de $2,5 \text{ mm}^2$, pois como determina a NBR 5410 (ABNT, 2004) o uso de condutores de seção $2,5 \text{ mm}^2$ no mínimo para circuitos de potência, valendo ressaltar que este caso, diz respeito do poste de maior proximidade até ao motor, onde foi utilizado cabos de cobre, assim a sua resistividade foi aplicada a fórmula.

10 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES

Para implementação do quadro elétrico, é necessário o correto dimensionamento do componente de partida e automação, deste modo os componentes pertinentes a partida do motor elétrico de indução trifásico, automação e de aplicações diversas, são subdivididos em três tópicos, abaixo.

10.1 COMPONENTES DE PARTIDA

Os componentes a serem utilizados para a partida do motor são listados, a seguir:

- Disjuntor tripolar (disjuntor motor);
- Contator;
- Relé térmico (disjuntor motor);
- Relé falta de fase;
- Botoeiras;
- Sinaleiros;
- Chave seletora;
- Transformador de comando.

10.1.1 Disjuntor Tripolar

Para o dimensionamento do disjuntor tripolar para o acionamento do motor de indução trifásico, temos que a corrente nominal do motor é de 11,6A, mediante placa de identificação do motor, assim podemos determinar o disjuntor a ser aplicado, os cálculos são dispostos, abaixo para determinação da corrente do disjuntor, com os dados sendo aplicados as Equações 3 e 4.

$$I_p \leq I_n \leq I_z \quad (3)$$

$$I_z = I_c \times FCA \times FCT \quad (4)$$

Execução dos cálculos:

$$I_z = 20 \times 1 \times 0,8$$

$$I_z = 16A$$

$$11,6A \leq I_n \leq 16$$

Com base nos cálculos, o disjuntor escolhido é de **16 A** de classe C, que é representado na Figura 43, como sendo um minidisjuntor Mdw-C16-3 16A.

Figura 43 - Minidisjuntor Mdw-c16-3 16A



Fonte: Mercado Livre (2024).

10.1.2 Contator

Calculando a corrente máxima do motor com a Equação 5, e consecutivamente a corrente máxima do contator com a Equação 6, obtemos o resultado abaixo:

Corrente máxima do motor:

$$\text{Corrente máxima} = I_{n(\text{maior corrente})} \times F.S \quad (5)$$

$$\text{Corrente máxima} = 20A \times 1,15 = 23A$$

Corrente máxima do contator:

$$\text{Corrente máxima do contator} = \text{Corrente máxima do motor} \times 1,15 \quad (6)$$

$$\text{Corrente máxima do contator} = 23A \times 1,15$$

$$\text{Corrente máxima do contator} = 26,45A$$

Desse modo, a corrente determinada por cálculos para o contator é de **26,45 A**, olhando o catálogo de contadores WEG, é obtido o contator WEG Cwm32-10-30 classe AC-3, ilustrado na Figura 44.

Figura 44 - Contator WEG Cwm32-10-30



Fonte: Mercado livre (2024)

10.1.3 Relé Térmico

O relé térmico apresenta dois casos para cálculo, caso 1 quando o F.S(Fator de Serviço) é menor que 1,15 e quando o F.S é maior ou igual a 1,15, como o motor usado no estudo apresenta um F.S igual a 1,15, é realizado os seguintes cálculos substituindo o valor da corrente nominal na Equação 7.

$$I_{\text{relé térmico}} = 1,25 \times I_n \quad (7)$$

$$I_{\text{relé térmico}} = 1,25 \times 11,6$$

$$I_{\text{relé térmico}} = \mathbf{14,5A}$$

Com base nos cálculos, é determinado o relé térmico WEG RW27-2D3-U015, ilustrado na Figura 45.

Figura 45 - Relé térmico WEG RW27-2D3-U015



Fonte: Mercado Livre (2024)

10.1.4 Disjuntor Motor

O disjuntor motor pode ser usado para substituir a proteção do disjuntor tripolar e relé térmico, de modo que pode atuar em caso de curto-circuito, como também em casos de sobrecarga térmica em seus condutores. Seu dimensionamento é realizado, logo abaixo substituindo o valor da corrente nominal do motor em 380 V na Equação 8.

$$I_{DM} = 1,15 \times \text{Corrente Nominal do Motor} \quad (8)$$

$$I_{DM} = 1,15 \times 11,6A$$

$$\mathbf{I_{DM} = 13,34A}$$

Dessa forma, podemos escolher o disjuntor-motor AZ MPW18-3-U016 que varia sua corrente nominal de 10-16A, representado na Figura 46.

Figura 46 - Disjuntor-Motor AZ MPW18-3-U016



Fonte: WEG (2024)

10.1.5 Relé Falta de Fase

O relé falta de fase, é basicamente a tensão de alimentação que no caso em questão é de 380V, o relé escolhido é o relé falta de fase ALTRONIC, ilustrado na Figura 47.

Figura 47 – Relé Falta de Fase ALTRONIC



Fonte: Mercado Livre (2024)

10.2 COMPONENTES DE AUTOMAÇÃO

O componente utilizado para a automação será um temporizador, programador de horário com diversas configurações de programação semanal, como é mostrado na Figura 48.

Figura 48 – Temporizador de digital



Fonte: Mercado Livre (2024)

10.3 COMPONENTES DIVERSOS

Nesses componentes diversos se encontram sinaleiros, botoeiras, chave seletora e transformador de comando são ilustrados nas Figuras 49, 50, 51 e 52 respectivamente.

Figura 49 – Sinaleiro



Fonte: Mercado livre (2024)

Figura 50 – Botoeira



Fonte: Mercado livre (2024)

Figura 51 – Chave seletora



Fonte: Mercado livre (2024)

Figura 52 – Transformador de Comando



Fonte: Mercado livre (2024)

11 APLICAÇÃO PRÁTICA DO PROJETO

Na aplicação prática do projeto, foi escolhida a opção com o disjuntor motor como foi projetado no Eplan Electric P8 anteriormente, assim foi montado o circuito em um painel com as seguintes dimensões 300X300X200 em mm, com canaletas 30X30 em mm, como foi estipulado no projeto, as figuras a seguir mostram a montagem e a finalização do painel elétrico. Primeiramente foram feitas as furações e a colocação da chave seletora e as 2 botoeiras de sinalização de energizado e ligado, como é exposto na Figura 53.

Figura 53 – Furação e Colocação de Comando e Sinalização



Fonte: Autoria própria (2024)

Após as furações e colocação dos componentes da parte de comando, foi passado os condutores para a força do painel e com as suas devidas conexões em seus respectivos bornes, como também às derivações para o relé falta de fase, como é mostrado na Figura 54.

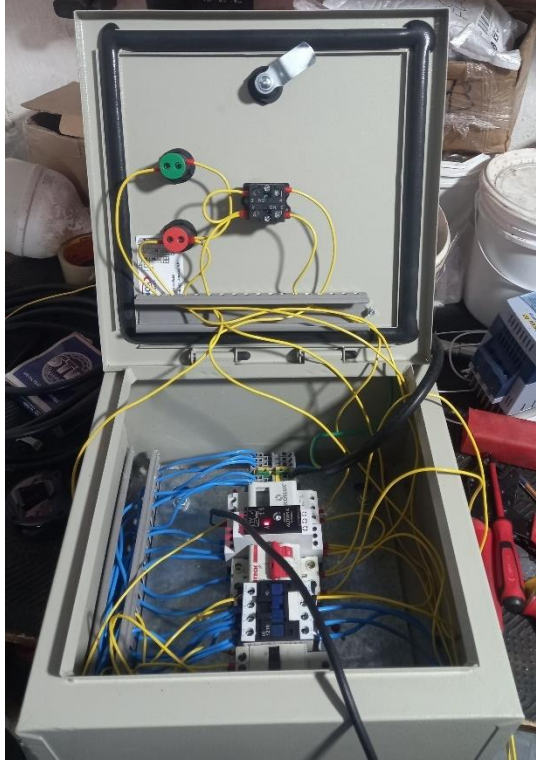
Figura 54 – Passagem dos Condutores de Força



Fonte: Autoria própria (2024)

Depois disso, foi feita a passagem dos condutores do comando para os sinaleiros e a chave seletora, como pode ser visto na Figura 55.

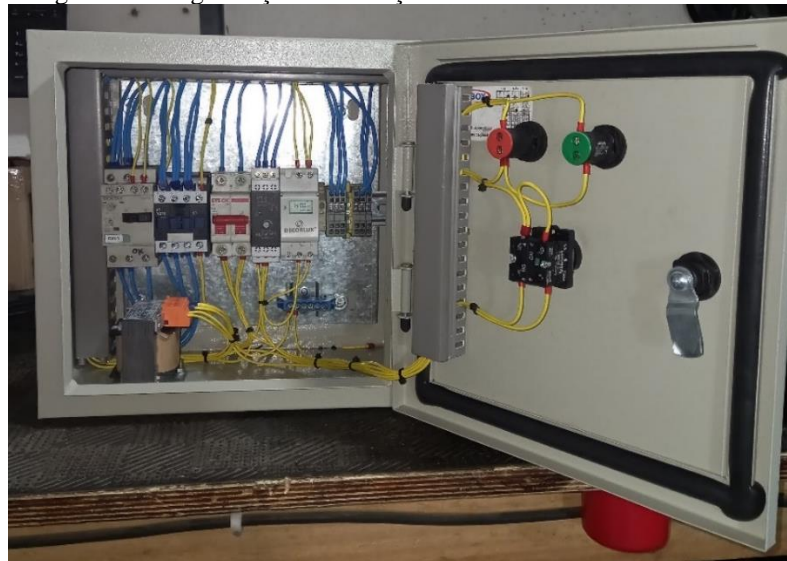
Figura 55 – Passagem dos Condutores de Comando



Fonte: Autoria própria (2024)

Agora partindo para finalização do painel elétrico, foi feito a organização dos condutores no painel e a instalação de um transformador de comando para fornecer 220 V para os sinaleiros e temporizador programável, como pode ser visualizado na Figura 56.

Figura 56 – Organização e Instalação do Transformador de Comando



Fonte: Autoria própria (2024)

Houve também a identificação das funções dos componentes de comando da tampa do painel com TAGs, que podem ser visualizadas, a seguir na Figura 57.

Figura 57 – Identificação das Funções dos Componentes de Comando



Fonte: Autoria própria (2024)

Para visualização do funcionamento prático do painel elétrico, o link disponível abaixo pode ser acessado:

Link do Vídeo no YouTube: [<https://youtu.be/ZUnV5ckmpkA>].

12 PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Para manter o funcionamento pleno do painel elétrico, a seguir é mostrado na Tabela 2, um plano de manutenção preventiva para o painel elétrico projetado e implementado.

Tabela 2 – Plano de Manutenção preventiva

MANUTENÇÃO PREVENTIVA				
ATIVIDADES	CHECAGEM DE EXECUÇÃO			
Reaperto dos Condutores nos Bornes	SIM		NÃO	
Limpeza Geral do Painel Elétrico	SIM		NÃO	
Checagem de Funcionamento Normal	SIM		NÃO	
Limpeza dos Componentes com Desengraxante Dielétrico	SIM		NÃO	
Periodicidade de Execução: 6 meses				

Fonte: Autoria própria (2024)

13 CONCLUSÃO

Com o trabalho totalmente concluído e com seus objetivos atingidos, percebemos que o trabalho contribuiu para a aplicação de conhecimentos, vistos em sala de aula, de modo que desenvolveu-se experiência prática para a construção de projetos de automação, não somente no âmbito de dimensionar e projetar via software, mas também de construção física do projeto, aprendendo o manuseio de ferramentas, materiais e a resolução de problemas que surgem na aplicação da teoria na prática, além de ter contribuído para aprendizagem do software EPLAN ELECTRIC P8, muito utilizado para a construção de projetos elétricos industriais de uso profissional.

Com relação a situação atual do sistema de irrigação analisado, foi constatado que o sistema apresenta algumas não conformidades, mas com relação a parte elétrica, o sistema apresenta um bom dimensionamento das seções dos condutores empregados, não apresentando queda de tensão considerável, estando tudo dentro do estabelecido pela concessionária, assim não foi sugerido nenhum tipo de alteração ao sistema atual, mesmo que ainda assim apresente irregularidades com a norma vigente para instalações elétricas, já que o mesmo foi desenvolvido em normas antigas.

A automação prática sugerida se mostrou muito interessante para a aplicação, no meio rural ou em algum lugar que necessite de ligação temporizada de motores trifásicos, saindo-se muito bem para uma automação de pequeno porte, contribuindo para uma melhor confiabilidade e uso da rede elétrica, assim foi constatado após a construção do painel elétrico a necessidade opcional de um relé de nível para o monitoramento do nível da fonte de água, para evitar que a válvula do motor fique descoberta, mas isto não atrapalha o funcionamento da automação construída, sendo apenas a agregação de mais um dispositivo de auxílio para a automação.

Com a conclusão do trabalho proposto e com tudo que foi construído para a implementação do mesmo, concluímos que vários conceitos foram aplicados e que o trabalho contribuiu para a sedimentação da teoria e aplicação na prática, com a experiência da construção do painel elétrico.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 17094-1**: Máquinas elétricas girantes - Parte 1: Motores de indução trifásicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.

CHAPMAN, S. J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. AMGH editora, 2013.

COTRIM, A. A. M. B. **Instalações elétricas**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
DIAS, G. P.; QUEIROZ, D. M. de; MANTOVANI, E. C. Automação e instrumentação para agricultura de precisão. *In*: SILVA, F. M. da. **Mecanização e agricultura de precisão**. Embrapa Milho e Sorgo, 1998, cap. 3, p. 71-108. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/480807/automacao-e-instrumentacao-para-agricultura-de-precisao>. Acesso em 05 abr. 2024.

ELETORASTRO. **Fusível diazed ultra rápido 16a 500v dekfuse**, 2024. Disponível em: <https://www.eletorastro.com.br/produto/fusivel-diazed-ultra-rapido-16a-500v-dekfuse-87242>. Acesso em: 12 mar. 2024.

ELETORASTRO. **Fusível neozed gl/gg 63a 400vca 50ka 5se2363 siemens**, 2024. Disponível em: <https://www.eletorastro.com.br/produto/fusivel-neozed-gl-gg-63a-400vca-50ka-5se2363-siemens-87322>. Acesso em: 12 mar. 2024.

FRANCHI, C. M. **Acionamentos elétricos**. 5. ed. Saraiva Educação S.A., 2018.
FRANCISCO, A. M. S. **Motores de indução trifásicos**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, 2006.

GUTIERREZ, R. M. V.; PAN, S. S. K. **Complexo eletrônico**: automação do controle industrial. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 28, p. 189-231, 2008. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9536>. Acesso em 05 abr. 2024.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION-IEC, **IEC 60034-1**: Rotating electrical machines - part 1: rating and performance. 2010.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, Raquel Scalia Alves; CHRISTOFIDIS, Demetrios. **O uso da irrigação no Brasil**: o estado das águas no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL, 1999. CD-ROM.

LUTZENBERGER, J. A. O absurdo da agricultura. **Estudos avançados**, v. 15, n. 43. p. 61-74, 2001. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9823>. Acesso em 05 abr. 2024.

MERCADO LIVRE. **1 Kit 2 Sinalizadores Led 220v L20 Vermelho E Verde Metaltex**, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2718785899-1-kit-2-sinalizadores-led-220v-l20-vermelho-e-verde-metaltex-_JM?matt_tool=71406470&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=1430221

5573&matt_ad_group_id=130580036350&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=542969737656&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla
&matt_merchant_id=307396518&matt_product_id=MLB2718785899&matt_product_partition_id=2272296359901&matt_target_id=pla-
2272296359901&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215573&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4ri0BhAvEiwA8oo6F_J4sTpT8Cg6bdwglxrlB_Y
ZutDwylMKPU4cZQogL7IE_wt3CFz4-hoCs1wQAvD_BwE. Acesso em: 10 jul. 2024.

MERCADO LIVRE. **Botões Liga / Desliga 1 Verde 1na + 1 Vermelho 1nf -metaltex**, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2768754627-botoes-liga-desliga-1-verde-1na-1-vermelho-1nf-metaltex-_JM?matt_tool=14372353&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215552&matt_ad_group_id=150145935327&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500191&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=151764940&matt_product_id=MLB2768754627&matt_product_partition_id=2269030433945&matt_target_id=pla-2269030433945&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215552&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4ri0BhAvEiwA8oo6F2mj9zToVzMMhPEJcDsf4kSDdTBvDidHoo7jLwCwxwbiZ3tkv_oh2xoCnI4QAvD_BwE. Acesso em: 10 jul. 2024.

MERCADO LIVRE. **Chave Seletora 2 Posições 22mm Preta 1na Manopla Curta**, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3277869601-chave-seletora-2-posicoes-22mm-preta-1na-manopla-curta-_JM?matt_tool=40343894&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303413655&matt_ad_group_id=133855953276&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=58415665519&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=122014870&matt_product_id=MLB3277869601&matt_product_partition_id=2268053647630&matt_target_id=pla-2268053647630&cq_src=google_ads&cq_cmp=14303413655&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4ri0BhAvEiwA8oo6FxfisGeqcoq7goKkfsBZU4kNc12IxDMPOe-Sf9gM41dpiNTXmHKEIRoCAioQAvD_BwE. Acesso em: 10 jul. 2024.

MERCADO LIVRE. **Clp Clic 02 - Clw-02/12hr-d - 24v C/ Cabo**, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3602755483-clp-clic-02-clw-0212hr-d-24v-c-cabo-_JM?matt_tool=40343894&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14303413655&matt_ad_group_id=133855953276&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=58415665519&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=5326476298&matt_product_id=MLB3602755483&matt_product_partition_id=2268053647590&matt_target_id=pla-2268053647590&cq_src=google_ads&cq_cmp=14303413655&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaLn6ajAZqLxCf1jBQDtoEy6WgIwlj9cpC-gP7p7iaL5kfRuDJ6W7Y0aAqfjEALw_wcB. Acesso em: 15 mar. 2024.

MERCADO LIVRE. **Contator Tripolar 32a 220v 1na Cwm32-10-30 V26 Weg**, 2024. Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/contator-tripolar-32a-220v-1na-cwm32-10-30-v26weg/p/MLB34494835?product_trigger_id=MLB34494835&attributes=VOLTAGE%3A220V&quantity=1. Acesso em: 10 jul. 2024.

MERCADO LIVRE. Relé controle de nível Rnw Weg Função Esvaziamento 100-240v, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1932095673-rele-controle-de-nivel-rnw-weg-funco-esvaziamento-100-240v-_JM?matt_tool=45029758&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215522&matt_ad_group_id=150145935567&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500182&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=412027174&matt_product_id=MLB1932095673&matt_product_partition_id=2266700345660&matt_target_id=pla-2266700345660&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215522&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaKGJfKyBCcns3M5FsDaAxsfoUFhMdVgi4mKAsCYvBiggDN15iS2ZjoaAvqZEALw_wcB. Acesso em: 15 mar. 2024.

MERCADO LIVRE. Rele falta de fase com neutro Altronic Trifásico 220v Fsn 22, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2201767864-rele-falta-de-fase-com-neutro-altronic-trifasico-220v-fsn-22-_JM?matttool=14372353&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215552&matt_ad_group_id=150145935327&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500191&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=122014870&matt_product_id=MLB2201767864&matt_product_partition_id=2269030433945&matt_target_id=pla-2269030433945&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215552&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwn7mwBhCiARIsAGoxjaJ62Nxm5potypurfdV43tsI4F8r2_0pCof6FXdIShwKl24bPx2E0gwaAlrTEALw_wcB. Acesso em: 14 mar. 2024.

MERCADO LIVRE. Rele Falta De Fase Trifásico Ffs Altronic S/ Neutro 220-380v, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3668533693-rele-falta-de-fase-trifasico-ffs-altronic-s-neutro-220-380v-_JM?matt_tool=14372353&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215552&matt_ad_group_id=150145935327&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500191&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=732825533&matt_product_id=MLB3668533693&matt_product_partition_id=2269030433745&matt_target_id=pla-2269030433745&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215552&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4ri0BhAvEiwA8oo6F9U5Z46xw6ltZIJ11SYhQfGcb2ar5aAd8m_gT6HNjyBPAUDAJ1OB0CGOEQA_vD_BwE. Acesso em: 10 jul. 2024.

MERCADO LIVRE. Rele Sobrecarga Termico Az Rw27-2d3-u015 Ajuste 10-15a Weg, 2024. Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/rele-sobrecarga-termico-az-rw27-2d3-u015-ajuste-10-15a-weg/p/MLB24283264?item_id=MLB3767431691&from=gshop&matt_tool=45029758&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215522&matt_ad_group_id=150145935567&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500182&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=735125422&matt_product_id=MLB24283264-product&matt_product_partition_id=2266700345500&matt_target_id=pla-2266700345500&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215522&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4ri0BhAvEiwA8oo6FwiGLDckTWJBrPyh1nanS37-OV7U4_VqFNg77OhNFO0qfSAKViLshoCl4cQAvD_BwE. Acesso em: 10 jul. 2024.

MERCADO LIVRE. **Timer Temporizador Digital 110v 220v Bivolt Din 35mm Exatron Letm4004**, 2024. Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/timer-temporizador-digital-110v-220v-bivolt-din-35mm-exatron-letm4004/p/MLB23284106?item_id=MLB3324576975&from=gshop&matt_tool=45029758&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215522&matt_ad_group_id=150145935567&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500182&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=735128188&matt_product_id=MLB23284106-product&matt_product_partition_id=2266700345660&matt_target_id=pla-2266700345660&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215522&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_med=pla&gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4ri0BhAvEiwA8oo6F0DKk3BQ7fRrtnmszxC-XLrsZ8BDV5kAKSzHrKDUcRGQ4-ICI1bEcRoCRDIQAvD_BwE. Acesso em: 10 jul. 2024.

MERCADO LIVRE. **Transformador Comando Mono 50va E-380v S-220v**, 2024. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3242298023-transformador-comando-mono-50va-e-380v-s-220v-_JM?quantity=1. Acesso em: 10 jul. 2024.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO-MTE. **NR 10: segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Brasília, 2004.

NASCIMENTO JÚNIOR, G. C. do. **Máquinas elétricas: teoria e ensaios**. 4 ed. rev. Saraiva Educação S. A., 2011.

PETRUZELLA, F. D. **Motores elétricos e acionamentos**. Porto Alegre: AMGH, 2013.
ROGGIA, L.; FUENTES, R. C. **Automação industrial**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Rede e-Tec Brasil, 2016.

SILVA, M. E. **Curso de automação industrial**. Piracicaba-SP: Escola de Engenharia de Piracicaba-EEP, 2007.

SOTTA. **IHM PC Gráfica Magelis IPC PUF7D0P01 - 15" – Schneider**, 2024. Disponível em: <https://www.sotta.com.br/ihm-pc-grafica-magelis-ipc-puf7d0p01-15-schneider>. Acesso em: 15 mar. 2024.

TORO, V. del. **Fundamentos de máquinas elétricas**. São Paulo: Prentice-Hall do Brasil, 1994.

WEG. **DISJUNTOR-MOTOR AZ MPW18-3-U016**, 2024. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Disjuntores-motores/Disjuntores-Motores-MPW/DISJUNTOR-MOTOR-AZ-MPW18-3-U016/p/12429373>. Acesso em: 08 set. 2024.

WEG. **RW - Relés de sobrecarga térmico**, 2024. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Rel%C3%A9s-de-Sobrecarga/Rel%C3%A9s-de-Sobrecarga-T%C3%A9rmico-RW/RW---Rel%C3%A9s-de-Sobrecarga-T%C3%A9rmico/p/MK_T_WD_C_BRAZIL_THERMAL_OVERLOAD_RELAYS_RW. Acesso em: 13 mar. 2024.

