

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA**

EDNEI FREIBERGER

**REFORMA E AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO D'ÁGUA
DE UMA INDÚSTRIA**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRÔNICA**

EDNEI FREIBERGER

**REFORMA E AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO D'ÁGUA
DE UMA INDÚSTRIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro em Eletrônica.

Orientador:
Prof. Robinson Pizzo, Dr.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Freiberger, Ednei
REFORMA E AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO D'ÁGUA
DE UMA INDÚSTRIA / Ednei Freiberger; orientação de Robinson
Pizzo; coorientação de Julio Feller Golin. - Florianópolis,
SC, 2022.
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Eletrônica. Departamento Acadêmico
de Eletrônica.
Inclui Referências.

1. Automação. 2. Controlador lógico programável.
3. Captação d'água. 4. Supervisão. I. Pizzo, Robinson.
II. Golin, Julio Feller . III. Instituto Federal de Santa
Catarina. IV. REFORMA E AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE
CAPTAÇÃO D'ÁGUA DE UMA INDÚSTRIA.

REFORMA E AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO D'ÁGUA DE UMA INDÚSTRIA

EDNEI FREIBERGER

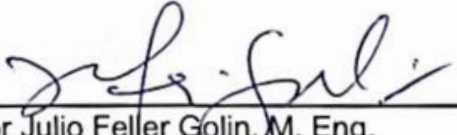
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro em Eletrônica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso Engenharia Eletrônica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 16 de dezembro, 2022.

Banca Examinadora:



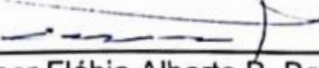
Professor Robinson Pizzo, Dr. Eng.
Orientador - Presidente



Professor Julio Feller Golin, M. Eng.
Coorientador



Professor Clóvis Antônio Petry, Dr. Eng.
IFSC



Professor Flávio Alberto B. Batista, Dr. Eng
IFSC

Dedico este trabalho à minha esposa Josiane Dias Freiberg;

Ao meu Filho Andrei Freiberg;

Ao meu Filho Diego Freiberg.

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Robinson Pizzo e Júlio Feller Golin pelo apoio e esforço para que este trabalho tenha sido construído.

A minha família, em especial a minha esposa Josiane e meus filhos Andrei e Diego, por todo carinho, compreensão e motivação.

Aos professores, que nesta trajetória sempre me apoiaram.

Aos colegas de trabalho e de estudo pelo companheirismo e amizade.

*"O único lugar onde o sucesso vem antes
do trabalho é o dicionário"*

Albert Einstein

RESUMO

A água é de fundamental importância para todos os seres vivos como também na agricultura e indústria. Do total da água existente em nosso planeta, menos de um por cento está na forma líquida e disponível para uso. Na indústria, a água é utilizada em uma série de processos, diretamente no produto ou em processos auxiliares. Muitos processos industriais dependem de reações usando produtos químicos dissolvidos em água, suspensão de sólidos, dissolver e extrair substâncias, processar produtos e lavar equipamentos. Hoje existe na indústria onde o projeto será aplicado, um sistema de captação de água já implantado, o qual atende à capacidade de água necessária. No entanto, os painéis elétricos estão degradados, diminuindo a confiabilidade do sistema. Além desse problema, não existe um sistema de automação para captação, transporte e controle do nível das caixas, sendo que muitas vezes uma parcela da água captada atualmente é desperdiçada por transbordamentos em valas e caixas, por falta de um sistema que gerencie estes processos. Também não existe um sistema automático de coleta de informação da produção e consumo. Isso prejudica ou mesmo impossibilita o gerenciamento otimizado deste recurso. O fluxo médio de consumo é de 45m³/h, ou seja, aproximadamente 33.480.000 litros por mês. O presente trabalho visa a apresentar a reforma do sistema, projeto do sistema elétrico, desenvolvimento de um sistema automatizado de captação e distribuição e implantação desse sistema a uma empresa do segmento cerâmico. A fim de se resolver o problema, foram especificados e projetados onze painéis elétricos envolvidos com a captação e transporte d'água, definidos e dimensionados equipamentos de controle e automação do sistema, elaborados programas dos controladores lógicos programáveis, monitorado e feita comunicação entre equipamentos do sistema e criado programa de supervisão. Após implantação do projeto, os níveis das cisternas se mantêm estáveis nos níveis desejados, sem transbordo ou falta de água. O sistema de supervisão mostra de forma fácil e clara todo o comportamento do sistema em tempo real. Após a implantação do sistema, foi verificado uma economia em torno de 20% de energia, gerando um retorno do projeto por volta de R\$ 72.000,00 anuais.

Palavras-chave: Automação. Controlador lógico programável. Captação d'água. Supervisão.

ABSTRACT

Water is of fundamental importance for all living beings as well as in agriculture and industry. Of the total water on our planet, less than one percent is in liquid form and available for use. In industry, water is used in a number of processes, directly in the product or in auxiliary processes. Many industrial processes rely on reactions using chemicals dissolved in water, suspending solids, dissolving and extracting substances, processing products and washing equipment. Today, in the industry where the project will be applied, there is a water collection system already in place, which meets the required water capacity. However, the electrical panels are degraded, decreasing the reliability of the system. In addition to this problem, there is no automation system for capturing, transporting and controlling the level of the boxes, and many times a portion of the water currently captured is wasted by overflowing in ditches and boxes, due to the lack of a system to manage these processes. There is also no automatic system for collecting production and consumption information. This impairs or even makes the optimized management of this resource impossible. The average consumption flow is 45m³/h, that is, approximately 33,480,000 liters per month. The present work aims to present the reform of the system, design of the electrical system, development of an automated system of capture and distribution and implementation of this system to a company in the ceramic segment. In order to solve the problem, eleven electrical panels involved in the collection and transport of water were specified and designed, control equipment and automation of the system were defined and dimensioned, programs were created for programmable logic controllers, monitoring and communication between equipment in the system and created a supervision program. After implementing the project, the levels of the cisterns remain stable at the desired levels, without overflow or lack of water. The supervisory system shows, in an easy and clear way, all the behavior of the system in real time. After the implementation of the system, energy savings of around 20% were verified, generating a project return of around R\$ 72,000.00 per year.

Keywords: Automation. Programmable logical controller. Water catchment. Supervision.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Topologia para uma rede industrial.....	23
Figura 2 - CLP	25
Figura 3 - Diagrama de blocos de um CLP	26
Figura 4 - Funcionamento Básico CLP	27
Figura 5 – a) Representação gráfica da função AND cabeada, b) Ladder, c) Texto estruturado	28
Figura 6 – a) Representação gráfica da função OR cabeada, b) Ladder, c) Texto estruturado	28
Figura 7 – a) Representação gráfica da função NOT cabeada , b) Ladder, c) Texto estruturado	29
Figura 8 – a) Representação gráfica da função XOR cabeada, b) Ladder, c) Texto estruturado	30
Figura 9 - Blocos componentes do inversor de frequência	31
Figura 10 - Modelo IHM fabricante WEG	32
Figura 11 - Conversor do tipo retificador	33
Figura 12 - Conversor do tipo inversor	33
Figura 13 - Conversor de Frequência.....	33
Figura 14 - Gráfico comparativo entre acionamentos elétricos	35
Figura 15 - Sistema trifásico TN-S	39
Figura 16 - Sistema TN-C.....	40
Figura 17 – Sistema TT	40
Figura 18 - Visão geral do sistema de captação de água	51
Figura 19 - Localização do painel R3 na visão geral.....	53
Figura 20 - Localização do painel R6 na visão geral.....	55
Figura 21 - Diagrama multifilar painel R3	58
Figura 22 - Sensor de Nível.....	59
Figura 23 - Visão geral de comunicação do sistema de automação	60
Figura 24 - Esquemático	61
Figura 25 - Interface Programação CLP.....	64
Figura 26 - Fluxograma Controle Bombas B31 e B32.....	65
Figura 27 - Limites de ação R1 a R3.....	66
Figura 28 - CX Designer.....	67
Figura 29 - E3 Studio da Elipse.....	68
Figura 30 - Painel antigo	69

Figura 31 - Painel novo	70
Figura 32 - Nível Cisterna Industria.....	71
Figura 33 - Nível Secundária Sertão	71
Figura 34 - IHM	72
Figura 35 - Tela Supervisão da Captação	73
Figura 36 - Consumo energia.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas características dos condutores	45
Tabela 2 - Capacidade de condutores de cobre 70 graus.....	46
Tabela 3 - Capacidade de condutores de cobre 90 graus.....	46
Tabela 4 - Limites de Queda de Tensão	48
Tabela 5 - Características contadores 3RT Siemens	52
Tabela 6 - Características Disjuntor-motor 3RV Siemens	54
Tabela 7 - Catálogo de instalação inversor CFW300 WEG	55
Tabela 8 - Catálogo de instalação Soft-Starter SSW07/SSW08 WEG	56
Tabela 9 - Memórias do Sistema.....	62
Tabela 10 - Mapa de Memória PB_CIS_POT	63
Tabela 11 - Canal Entrada 00 da PB_CIS_POT	63
Tabela 12 - Cronograma Projeto	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características físicas das redes Ethernet industriais	23
Quadro 2 - Fatores de correção para temperaturas ambiente diferentes de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas	43
Quadro 3 - Fatores de correção para agrupamento de circuitos ou cabos multipolares, aplicáveis aos valores de capacidade de condução de corrente	44
Quadro 4 - Tipos de linhas elétricas	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
DAE	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
IHM	Interface Homem Máquina
RAM	Random Access Memory

Sumário

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Justificativa	18
1.2	Definição do Problema	18
1.3	Objetivo Geral	19
1.4	Objetivos Específicos	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Automação	20
2.2	Redes de Comunicação	21
2.2.1	Rede Ethernet	21
2.2.1.1	<i>Protocolo Omron Fins</i>	24
2.3	Controlador Lógicos Programáveis (CLP)	24
2.3.1	Características construtivas	25
2.3.2	Linguagens de programação	27
2.3.2.1	<i>Função AND (e)</i>	28
2.3.2.2	<i>Função OR (ou)</i>	28
2.3.2.3	<i>Função NOT (Inversora)</i>	29
2.3.2.4	<i>Função XOR (ou exclusiva)</i>	29
2.4	Inversores de frequência	30
2.4.1	Unidade Central de Processamento (CPU)	31
2.4.2	Interface Homem-Máquina (IHM)	31
2.4.3	Etapa de Potência	32
2.5	Soft Starter	34
2.6	Sensores hidrostáticos	35
2.7	Instalações elétricas industriais	36
2.7.1	Fatores de projeto	36
2.7.2	Tensão de fornecimento de energia	37
2.7.3	Dimensionamento de condutores elétricos	38
2.7.4	Sistema de aterramento	38
2.7.5	Critérios básicos para divisão de circuitos	41
2.7.6	Critérios para dimensionamento da seção mínima dos condutores fase	41
2.7.6.1	<i>Critério da capacidade de condução de corrente</i>	42
2.7.6.2	<i>Fatores de correção de corrente</i>	43
2.7.6.3	<i>Critério do limite da queda de tensão</i>	47
3	METODOLOGIA	50
3.1	Dimensionamento componentes	51
3.1.1	Contatores	52
3.1.2	Disjuntor motor	53
3.1.3	Inversores	54
3.1.4	<i>Soft-starters</i>	56
3.1.5	Cabos	56
3.1.6	Sensor nível hidrostático	59
3.2	Automação	59
3.2.1	Mapa de memória do sistema	61
3.2.2	Programa CLP	63
3.2.3	Interface Homem Máquina (IHM)	67
3.2.4	<i>Software de supervisão</i>	67

4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	75
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICES	79
	APÊNDICE A – Visão geral do sistema de captação de água.....	80
	APÊANEXO B – Tela supervisão captação d'água.....	81
	APÊANEXO C – Fluxograma de decisão.....	82

1 INTRODUÇÃO

A água é de fundamental importância para todos os seres vivos na natureza, porém menos de 1% da água doce do planeta está na forma líquida e disponível para o uso. Do total que existe no planeta, 97,5% é salgada e apenas 2,5% é água doce. Deste último percentual, 1,7% está em forma de gelo, nas geleiras ou nos polos e, somente, 0,77% é encontrada na forma de rios, lagos, água subterrânea, solo, atmosfera e na biota, e sem entrar no mérito que nem todo esse ínfimo quantitativo de água está acessível para consumo (GRASSI, 2001).

A respeito de seu uso, pode-se inferir que, na indústria a água é utilizada em uma série de processos industriais, tanto para auxiliá-los como para usá-los diretamente no produto. Muitos processos industriais dependem de reações usando produtos químicos dissolvidos em água, suspensão de sólidos, dissolver e extrair substâncias, ou para processar produtos e lavar equipamentos. Processos como mineração, polimerização química, branqueamento de celulose, fabricação de papel, produção têxtil, tingimento, cerâmicos, impressão e resfriamento de usinas usam grandes quantidades de água, exigindo uma fonte contínua desse elemento. Na indústria alimentícia, o fornecimento e qualidade de água são fatores primordiais à produção.

Manter o abastecimento contínuo de água na indústria é de vital importância para garantir seu funcionamento contínuo. Além disso, a captação eficiente é fator determinante no conceito de Sustentabilidade Corporativa. “Atualmente, cabe à tecnologia de ponta fornecer instrumentos capazes de transformar nosso modo de vida.”(ZYLBERSZTAJN; LINS, 2010,p 9).

O presente trabalho visa apresentar a reformulação completa do sistema de captação de água para uma indústria do segmento cerâmico. Para tal foi realizado o desenvolvimento de um sistema automático envolvendo o projeto de todo o sistema elétrico, de controle de captação e níveis dos reservatórios, além da implantação de supervisório. Segundo Pessôa e Spinola (2014), o controle automático proporciona meios para o desempenho otimizado de equipamentos, melhora da qualidade, redução de custos, aumento de produtividade.

1.1 Justificativa

A água é uma matéria prima indispensável na produção de pisos cerâmicos. Dessa forma aumentar a confiabilidade de sua captação é de extrema importância, garantindo processo contínuo de produção neste segmento da indústria. A falha nesse processo desencadeará a total parada de todo processo fabril. Outro ponto não menos importante é executar a captação de forma mais eficiente possível, do ponto de vista energético e sustentável. De acordo com Almeida (2007, p 74), “Num futuro muito próximo, a água representará para o setor privado e a economia global o que o petróleo representa hoje”.

1.2 Definição do Problema

Hoje existe na indústria onde o projeto será executado, um sistema de captação de água já implantado, o qual atende à capacidade de água necessária. No entanto os painéis elétricos encontram-se muitos degradados, o que diminui a confiabilidade do sistema. Além desse problema, não existe um sistema de automação para captação, transporte e controle do nível das caixas, sendo que, muitas vezes, uma parcela da água captada atualmente é desperdiçada por transbordamentos em valas e caixas, por falta de um sistema que gerencie esses processos. Também não existe um sistema automático de coleta de informação da produção e consumo, isso prejudica ou mesmo impossibilita o gerenciamento otimizado desse recurso. Outro desafio do projeto foi a comunicação entre os painéis envolvidos, já que as localizações das captações de água estão a mais de 3.000 m uma da outra e da empresa, e possui um fluxo médio de consumo de $45\text{m}^3/\text{h}$, ou seja, aproximadamente 33.480.000 litros por mês. Essa água é do tipo potável, objeto desse trabalho, no entanto, nessa indústria têm-se também água do tipo industrial, água da qual é captada após processos industriais, recebe tratamento, e volta para utilização.

1.3 Objetivo Geral

Reformar o sistema de captação, transporte, distribuição e armazenamento de água para fins industriais, aumentado a confiabilidade e automatizando o sistema.

1.4 Objetivos Específicos

A fim de se alcançar o objetivo geral exposto no item 1.3, elaboram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) especificar e projetar onze painéis elétricos envolvidos com a captação e transporte d'água;
- b) definir e dimensionar equipamentos de controle e automação do sistema;
- c) elaborar programas dos controladores lógicos programáveis;
- d) monitorar e promover a comunicação entre equipamentos do sistema;
- e) criar programa de supervisão;
- f) supervisionar execução obra.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para desenvolver a automação da captação e distribuição de água de uma indústria, é necessário fazer o uso de uma série de metodologias tecnológicas e procedimentos que atuem diretamente na segurança e confiabilidade da rede, garantindo também uma maior longevidade no sistema e um retorno financeiro e ambiental adequado às expectativas.

Tais condições serão abordadas a seguir, dando embasamento à tipologia de instalação que será implementada na rede de captação de água em questão.

2.1 Automação

Automação é uma palavra derivada do idioma latim que tem como significado mover-se por si. A ideia de aplicar a automação em ambientes industriais, comerciais e residenciais tem por objetivo realizar tarefas sem a intervenção direta humana.

O controle automático atua sobre uma grandeza física de maneira geral. Ele propicia um desempenho otimizado de equipamento, diminui percentuais de erro, reduz custos, aumenta a produtividade e melhora a qualidade dos produtos (Pessôa; Spinola, 2014).

A automação nasceu na década de 1940, no ramo automobilístico, com o uso de relés eletromecânicos, cuja parte lógica era realizada por meio de arranjos relés. Nessas condições, ainda era necessária a intervenção humana em alguns pontos de decisão. A modificação da lógica ou manutenção exigia grandes tempos de parada significativas em função da dimensão e complexidade das ligações físicas entre relés, gerando custos e indisponibilidade dos sistemas.

Com o advento dos computadores e outros dispositivos eletrônicos de *hardware*, a tecnologia foi evoluindo, os componentes ficaram mais flexíveis e com menor custo de implementação e manutenção. Após alguns anos, desenvolveram-se os primeiros controladores lógicos programáveis, também no ramo automobilístico. Tais controladores evoluíram e são utilizados até hoje, existindo no

mercado inúmeros dispositivos de controle lógico computadorizados, desenvolvidos por dezenas de fabricantes (LAMB, 2015).

2.2 Redes de Comunicação

Sistemas modernos de automação industrial se baseiam fortemente em tecnologias digitais, onde mecanismos de sensoriamento, controle e atuação, estão geralmente dispersos geograficamente e se comunicam por meio de uma rede de comunicação. Essas novas abordagens facilitam a interoperabilidade entre componentes de fabricantes distintos, diminuem a complexidade da interconexão entre componentes, permitem um monitoramento e supervisão remotos mais eficientes e diminuem os custos operacionais.

Esses tipos de controle requerem redes de comunicação com características de tempo real, transmitindo os dados de forma confiável, dentro de prazos específicos, evitando perda de estabilidade do sistema de controle. Inicialmente, as redes utilizadas para a implementação de malhas de controle eram cabeadas, entretanto nos últimos anos redes sem fio têm se mostrado uma importante alternativa, seja por particularidades do processo controlado ou planta, pela facilidade de reconfiguração da estrutura física, ou pela utilização na construção de redes de sensores (MACÊDO; FARINES, 2018).

A forma como as conexões acessam a rede é determinada via protocolo de controle de acesso ao meio ou *Medium Acces Control* (MAC). Diversos protocolos de comunicação em tempo real foram desenvolvidos, tais como CAN, Ethernet (em vários perfis de tempo real), DeviceNet, PROFIBUS, IEEE 802.11e e Bluetooth (MACÊDO; FARINES, 2018).

2.2.1 Rede Ethernet

Com a introdução de periféricos distribuídos nas unidades de controle centralizadas, a ênfase foi dada em aspectos, tais como, mídia de transmissão simples, conexão com custos reduzidos nos mais simples dispositivos de campo e tempos de reposta curtos e seguros.

Ela foi desenvolvida pela Xerox na década de 70, em cooperação com a *Digital Equipment Corporation* (DEC) e a Intel, que desenvolveram o padrão na década de 80. Em 1985 a Ethernet foi aceita oficialmente como padrão 802.3 do IEEE (RTI, 2008).

A velocidade original da rede Ethernet era de 10 Mbit/s, porém, velocidades como 100 Mbit/s são facilmente encontradas; além disso, a GigaBit Ethernet é uma tecnologia já definida na especificação 802.3z da IEEE. Dessa forma, os problemas com a velocidade da rede já foram superados.

O meio físico da Ethernet, cabos e conectores que interligam os PCs, impressoras, e outros periféricos lidam com uma série de protocolos de comunicação, tais como, IP, TCP e vários outros protocolos de comunicação em redes. Esse conjunto de protocolos e conectividade aplica-se também ao ambiente de escritório. As necessidades do "chão-de-fábrica" são muito mais exigentes e precisam atender a alguns requisitos especiais. Nesses ambientes, os controladores devem acessar os dados a partir de sistemas, estações de trabalho e dispositivos de entrada e saída de dados (LOPEZ, 2000).

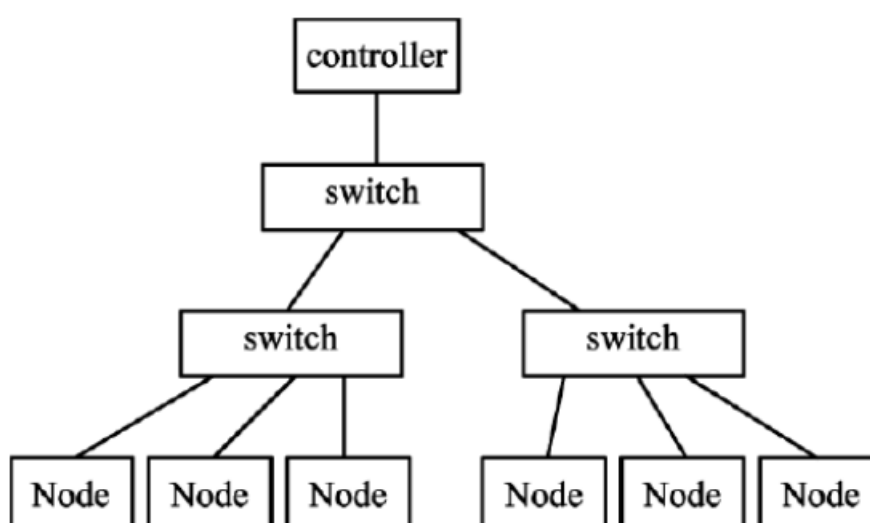
A Ethernet como padrão, em conjunto com os protocolos TCP/IP e UDP/IP, possibilita a comunicação por meio de todos os níveis, sem interrupções. A estrutura física da Ethernet é muito importante na indústria devido ao ambiente agressivo em que se instala. O quadro 1 mostra os tipos de cabos, suas respectivas configurações e condições de aplicabilidade, utilizados em redes atuais Ethernet industrial.

Quadro 1 - Características físicas das redes Ethernet industriais

Tipo de cabo	Velocidade da rede	Distância máxima sem repetidor	Número máximo de elementos
Par trançado blindado 10BASE-T	10Mbps	100 metros	1024
Par trançado blindado 100BASE-T	100Mbps	100 metros	1024
Par trançado blindado 1000BASE-T	1000Mbps	100 metros	1024
Fibra óptica 10BASE-FL	10Mbps	2000 metros	1024
Fibra óptica 100BASE-FL	100Mbps	2000 metros	1024

Fonte: RTI (2007).

A topologia da rede é, comumente, projetada em estrela, utilizando o mestre (controlador) como elemento central da rede, os *switches* industriais especiais para derivar e interligar os elementos da rede e os módulos de campo (nós) onde são conectados os sensores e atuadores. A figura a seguir ilustra uma topologia típica para uma rede Ethernet industrial.

Figura 1 - Topologia para uma rede industrial

Fonte: RTI (2007).

Além de um sistema seguro de cabeamento, é necessário atentar-se as conexões, pois elas garantem uma maior segurança em termos de proteção contra umidade, proteção mecânica, poeira e outras situações comuns no ambiente industrial.

Entre as principais vantagens desse tipo de comunicação estão, a difusão no mercado, em termos e popularidade, o baixo custo de implementação, treinamento e manutenção, alta velocidade, atualização simples e facilidade em acesso remoto, podendo prover diagnósticos e atuações remotamente.

Apesar de todas as vantagens, tais sistemas modernos de automação trazem novos desafios. A dispersão de equipamentos e a comunicação sobre redes de computadores dificulta a necessária coordenação e sincronização de ações entre os vários elementos envolvidos no processo de computação e controle. Por exemplo, dados captados por sensores podem sofrer atrasos inesperados na rede que comprometem a qualidade do controle, ou a falha de algum componente computacional pode requerer a reconfiguração imediata do sistema distribuído. (MACÊDO; FARINES, 2018)

2.2.1.1 Protocolo Omron Fins

O protocolo Omron *Factory Interface Network Service* (Fins) é um padrão proprietário desenvolvido pela empresa Omron para a comunicação com seus PLCs em uma rede Ethernet.

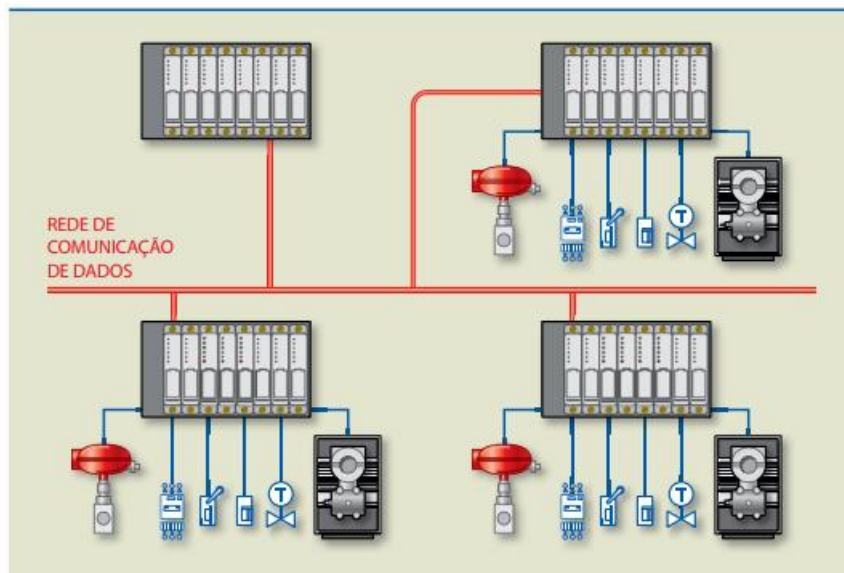
Usando comandos FINS, um nó de rede pode se comunicar com nós em três níveis de rede: nós em uma rede local, nós em redes conectadas diretamente por meio de um *gateway* e nós em redes separadas por uma outra rede, isto é, conectados por dois gateways.

2.3 Controlador Lógicos Programáveis (CLP)

De acordo com Golin (2021), um controlador lógico é um dispositivo que executa funções lógicas, combinacionais e sequenciais e tem como entradas sinais digitais e analógicos. Produz sinais de saída, também digitais e analógicos, a partir

do programa que executa, por meio da programação adequada introduzida através das teclas que o equipamento possui em sua frente ou com o auxílio de um PC (com o software específico). Na Figura 2 se observa um exemplo de CLPs conectados a vários periféricos e entre eles.

Figura 2 - CLP



Fonte: Parede (2011).

São utilizados como elementos básicos de controle, para realização de diversas automações, tais como:

- a) domótica;
- b) linhas de produção;
- c) estufas e fornos industriais;
- d) controle de grandezas físicas.

E uma vasta gama de automação de mecanismos, o qual desempenha um papel importante para a produção ágil de manufatura.

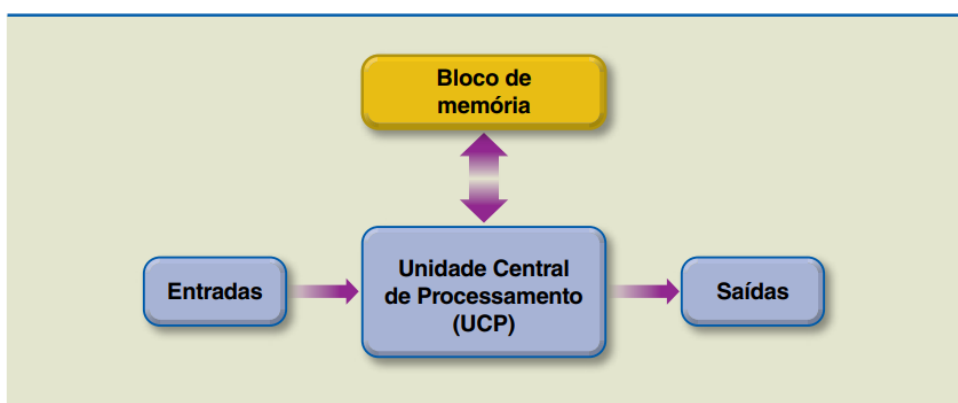
2.3.1 Características construtivas

Um Controlador Lógico tem sua arquitetura baseada nas seguintes atribuições:

- a) fonte de Alimentação;
- b) unidade de operação e visualização;
- c) entradas e saídas analógicas e digitais;
- d) CPU;
- e) Interface para a conexão com programador.

Na Figura 3 - Diagrama de blocos de um CLP é possível compreender o funcionamento de um CLP, a partir de um diagrama de blocos representando sua arquitetura interna.

Figura 3 - Diagrama de blocos de um CLP



Fonte: Parede (2011).

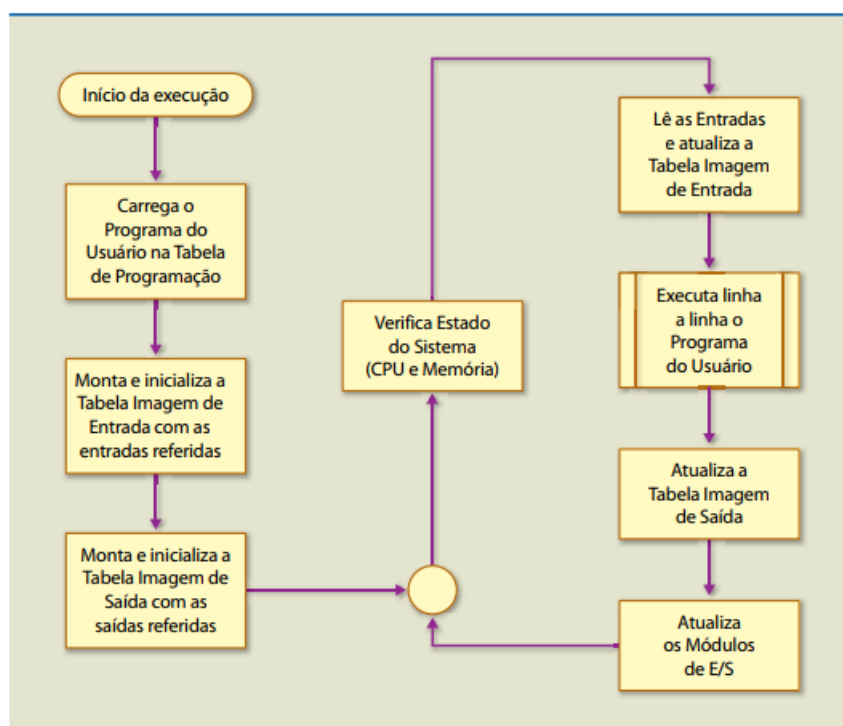
De acordo com Golin (2021), o controlador programável, como todo sistema microprocessado, tem seu princípio de funcionamento baseado em três passos conforme descritos abaixo. Com a partida, o CP executará as seguintes tarefas:

- a) Transferirá os sinais existentes na interface de entrada para a memória de dados (RAM).
- b) Iniciará a varredura do software aplicativo armazenando na memória de programa, utilizando os dados armazenados na memória de dados. Dentro deste ciclo, executará todas as operações que estavam programadas no software aplicativo, como intertravamentos, habilitação

de temporizadores e contadores, armazenagem de dados processados na memória de dados, etc...

c) Concluída a varredura do software aplicativo, o CLP transferirá os dados processados (resultados de operações lógicas) para a interface de saída. Paralelamente, novos dados provenientes da interface de entrada irão alimentar a memória de dados. Na Figura 4 têm-se o fluxograma de funcionamento básico de uma CLP.

Figura 4 - Funcionamento Básico CLP



Fonte: Parede (2021).

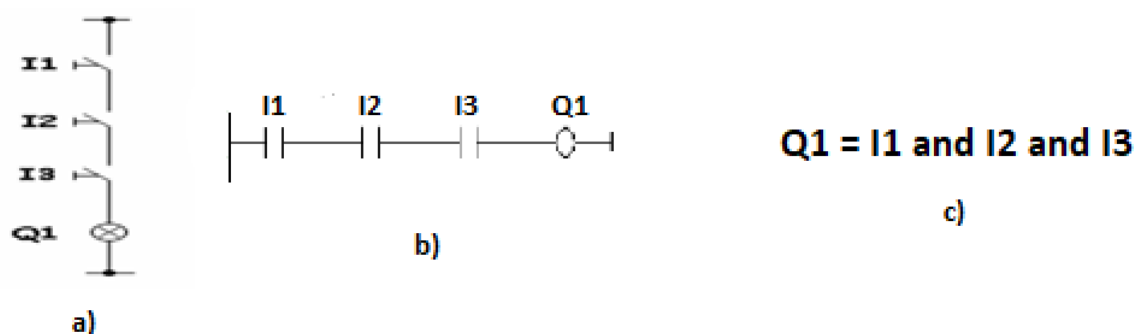
2.3.2 Linguagens de programação

Na programação do controlador, é possível trabalhar com uma série de funções lógicas e especiais, que permitem realizar diversas funções para as mais complexas aplicações existentes no mercado. A seguir, serão listadas as funções básicas, de onde partem as demais funções especiais permitidas em sua programação (PULIDO, 2007).

2.3.2.1 Função AND (e)

A função AND (e) apenas ativa a saída a partir do momento que todas suas entradas estiverem acionadas, na lógica cabeada, AND é representada conforme as Figuras 5a, 5b e 5c.

Figura 5 – a) Representação gráfica da função AND cabeada, b) Ladder, c) Texto estruturado

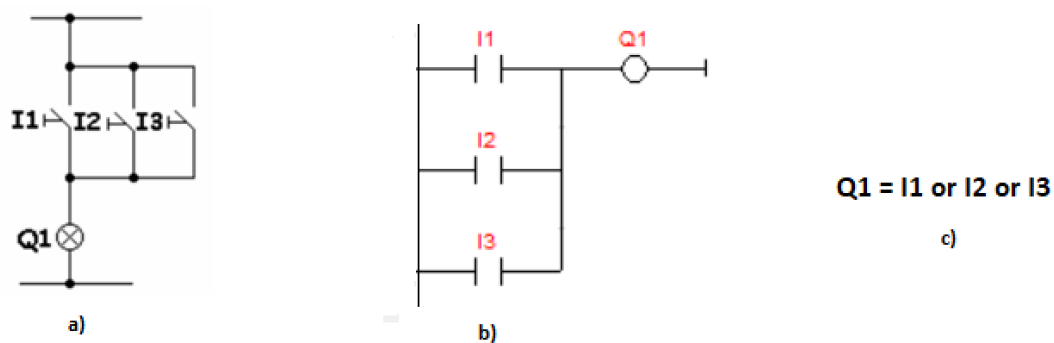


Fonte: Adaptado de Pulido (2007).

2.3.2.2 Função OR (ou)

Ao utilizar a função OR (ou), a saída será energizada sempre que qualquer entrada estiver acionada, ao realizar a instalação física, tal função será representada conforme as Figuras 6a, 6b e 6c.

Figura 6 – a) Representação gráfica da função OR cabeada, b) Ladder, c) Texto estruturado.

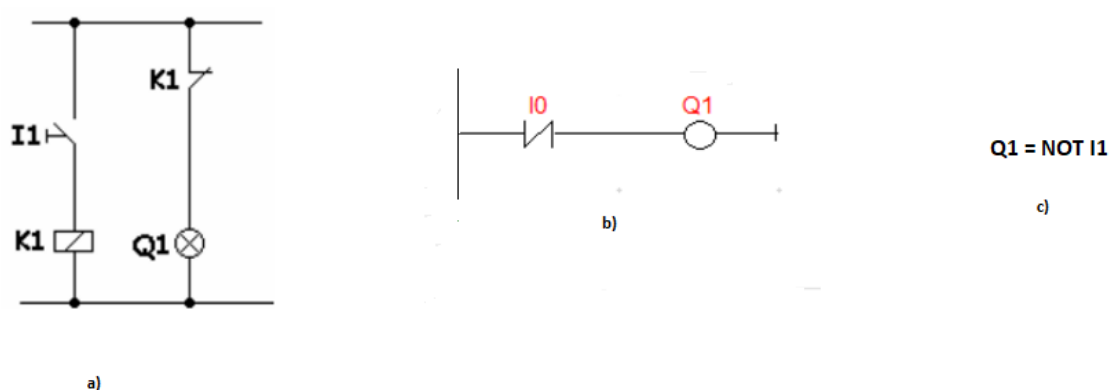


Fonte: Adaptado de Pulido (2007).

2.3.2.3 Função NOT (Inversora)

A função NOT (inversora) permite converter o valor de entrada, fecha a saída quando a entrada está aberta e vice-versa. Em linguagem Ladder, é necessário recorrer a um relé para realizar tal função, conforme pode ser observado nas Figuras 7a, 7b e 7c.

Figura 7 – a) Representação gráfica da função NOT cabeada , b) Ladder, c) Texto estruturado.

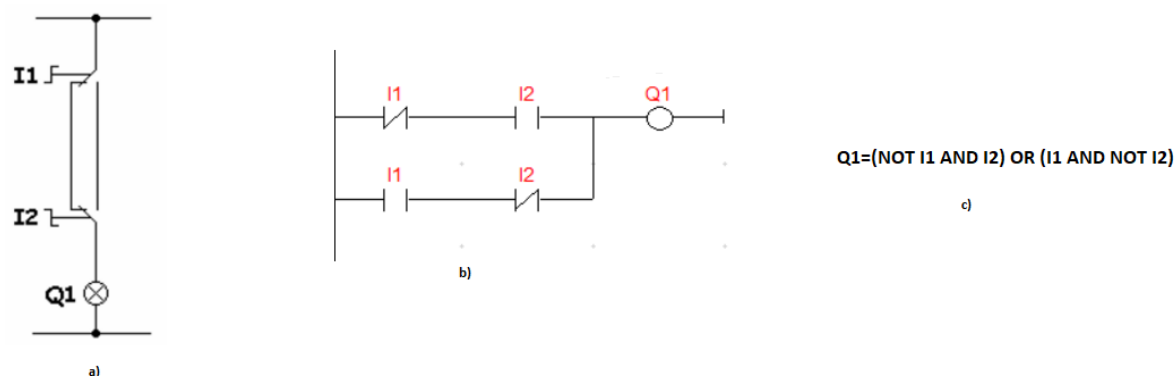


Fonte: Adaptado de Pulido (2007).

2.3.2.4 Função XOR (ou exclusiva)

A função XOR (ou exclusiva) se assemelha à comutação de dois interruptores paralelos, cuja saída seria o ponto luz acionado. Nesse caso, ela somente estará ligada caso a primeira ou a segunda entrada estiverem acionadas, mas estará desligada se as duas estiverem ligadas. É possível compreender melhor analisando as Figuras 8a, 8b e 8c.

Figura 8 – a) Representação gráfica da função XOR cabeada, b) Ladder, c) Texto estruturado.



Fonte: Adaptado de Pulido (2007).

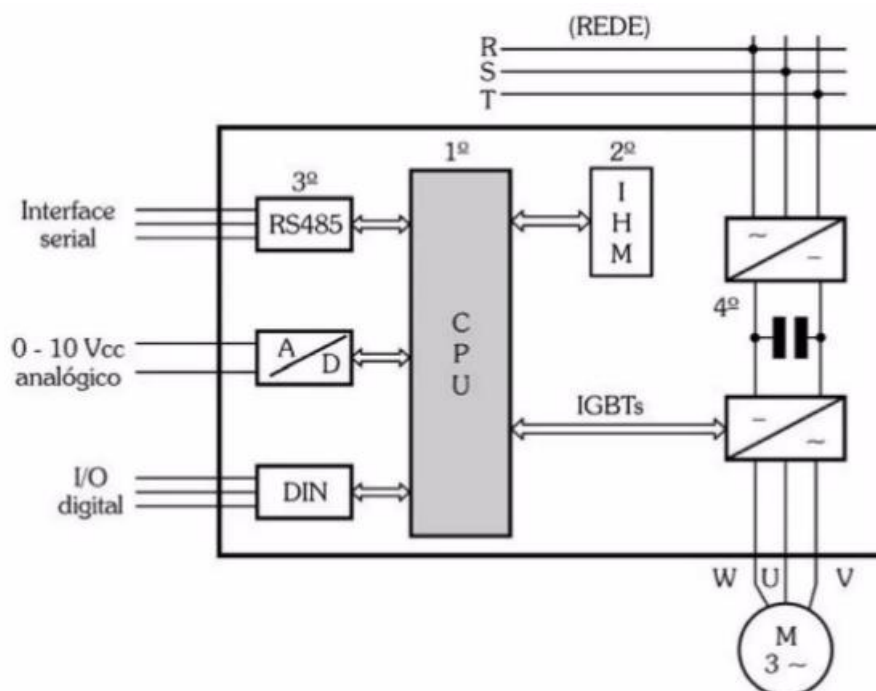
Além dessas funções básicas, existem as suas combinações, que resulta em portas lógicas como NAND, NOR e XNOR, todas elas possíveis de serem utilizadas em um controlador lógico, bastando apenas usar os conjuntos apresentados até o momento.

2.4 Inversores de frequência

O funcionamento de um inversor de frequência básico é composto basicamente por um retificador de onda, um controlador PWM, e um conversor de frequência, tendo ao início e ao final do processo um sinal de corrente alternada.

Para uma melhor compreensão do funcionamento básico de um inversor de frequência e suas comunicações, pode-se verificar a Figura 9.

Figura 9 - Blocos componentes do inversor de frequência



Fonte: Franchi (2009).

2.4.1 Unidade Central de Processamento (CPU)

Formada por um microprocessador ou por um microcontrolador, a CPU é onde todas as informações de parâmetros e dados estão armazenadas, tendo em vista que a memória está integrada a esse conjunto. Além de armazenar, a CPU executa a geração dos pulsos de disparo, por meio de uma lógica de controle coerente, para os IGBTs (FRANCHI, 2009).

2.4.2 Interface Homem-Máquina (IHM)

Com o dispositivo IHM, pode-se visualizar os parâmetros por meio do display, assim como parametrizar o inversor, a partir das teclas nele presentes. Na Figura 10 - Modelo IHM fabricante WEG é possível visualizar uma IHM da fabricante WEG.

Figura 10 - Modelo IHM fabricante WEG



Fonte: WEG Soft-Starter SSW07 (2022).

Com esse IHM pode-se visualizar diferentes grandezas do motor, como tensão, corrente, frequência, estado de alarme, sentido de giro, modo de operação (local ou remoto), ligar ou desligar o inversor, variar velocidade entre outras funções.

2.4.3 Etapa de Potência

O avanço da eletrônica de potência permitiu o desenvolvimento de conversores de frequência com dispositivos de estado sólido, inicialmente com tiristores e atualmente com transistores, mais especificamente o IGBT, transistor bipolar de porta isolada (FRANCHI, 2009).

Conforme apresentado anteriormente, é constituída por um circuito retificador, que por meio de um circuito intermediário denominado "barramento CC" alimenta o circuito de saída inversor (módulo IGBT)

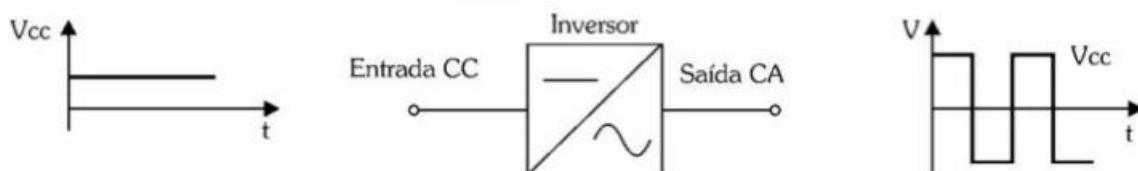
Pode-se dividir o inversor em duas etapas, o retificador e o inversor, o primeiro tem como função transformar CA em CC, conforme é possível observar na Figuras 11.

Figura 11 - Conversor do tipo retificador

Fonte: Franchi (2009).

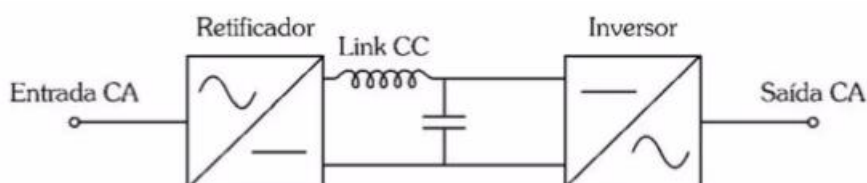
Conforme se pode verificar na Figura 11, na rede de entrada, a rede é fixa em 60Hz, sendo transformada pelo retificador em contínua (retificador de onda completa). O filtro transforma essa tensão em contínua com o valor de aproximadamente 41% acima da tensão de entrada da rede.

Já o inversor converte a energia transformada em CC novamente para CA, a fim de ser aplicada na carga final. Na Figura 12, observa-se a segunda etapa do inversor.

Figura 12 - Conversor do tipo inversor

Fonte: Franchi (2009).

Além desses dois componentes, em caso de necessidade de uma onda senoidal na saída, é preciso adicionar um circuito intermediário, chamado link CC com filtro, o diagrama de blocos do mesmo é apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Conversor de Frequência

Fonte: Franchi (2009).

Por último, deve-se considerar a modulação por largura de pulso (PWM), onde os transistores trabalham como chaves "liga ou desliga". Como a saída do inversor de frequência é sempre quadrada, utiliza-se do chaveamento dos transistores, para modular sua largura de pulso, disponibilizando assim, uma saída senoidal para a carga acoplada ao inversor (FRANCHI, 2009).

2.5 Soft Starter

Assim como os inversores, as *soft-starters* nasceram da crescente necessidade de sistemas confiáveis e flexíveis, advindos da popularização da tecnologia, entre os exemplos de aplicabilidades desses equipamentos estão, ar-condicionado, refrigeração industrial e compressores. Seu principal objetivo é reduzir correntes de partidas, obtendo-se uma partida suave do motor, evitando picos de corrente, além de incorporar paradas suaves e proteções (SERAFIM, 2022). Por meio de comandos microprocessados, controlam tiristores que ajustam a tensão enviada ao estator do motor, aliviando o pico de corrente na partida do motor, o que, considerando uma indústria com uma quantidade significativa de motores, protege consideravelmente a rede elétrica de picos de consumo.

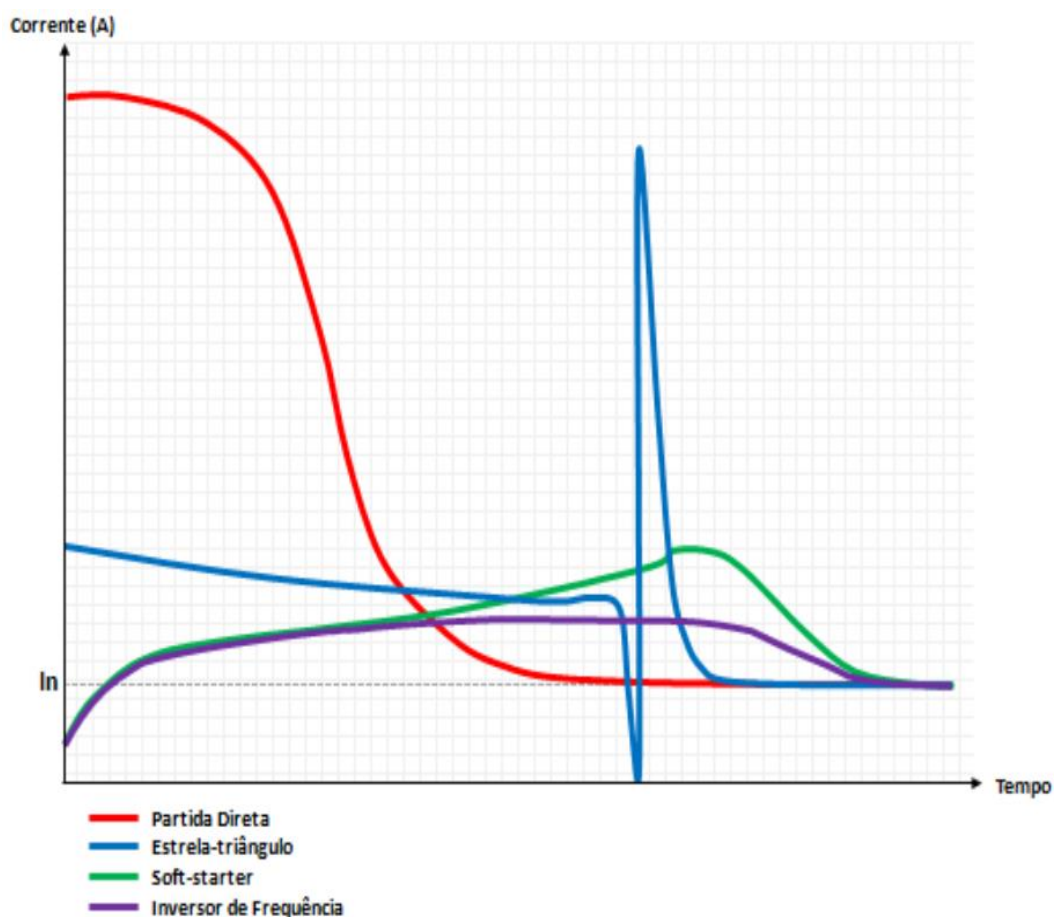
Com o ajuste do ângulo de disparo de tiristores, controla-se a tensão aplicada ao motor e, a partir da combinação correta das variáveis, o torque e a corrente são ajustados às necessidades da carga, ou seja, a corrente exigida será a mínima necessária para acelerar a carga, sem mudanças de frequência (SERAFIM, 2022).

Entre as vantagens das chaves soft-starters estão:

- a) Ajuste da tensão de partida por um tempo pré-definido;
- b) Pulso de tensão na partida para cargas com alto conjugado de partida;
- c) Redução rápida de tensão a um nível ajustável, (redução de choques hidráulicos em sistemas de bombeamento);
- d) Proteção contra falta de fase, sobrecorrente e subcorrente, etc.

Na figura 14, é possível visualizar o comparativo entre os diferentes tipos de chave de partida existentes no mercado, convencionais e controladas.

Figura 14 - Gráfico comparativo entre acionamentos elétricos



Fonte: Mascheroni (2005).

A partir da Figura 14, é possível observar a mudança brusca de picos de corrente, quando comparados a chaves de partidas convencionais. Isso traz uma série de benefícios ao sistema elétrico, prolongando a vida útil dos motores assim como preservando a disponibilidade da rede.

2.6 Sensores hidrostáticos

Existem diversos tipos de sensores comercializados no mercado, para as mais diversas aplicações, entre eles Fotovoltaicos, Capacitivos, Indutivos,

Ultrassônico, Infravermelhos, entre outros. Nesta seção, será caracterizado somente os sensores do tipo Hidrostático, tendo em vista que foram aplicados neste projeto, exclusivamente os modelos dessa tipologia.

Esse tipo de sensor utiliza um transdutor de pressão, que consiste em um elemento piezo resistivo. Este gera um sinal, que é proporcional ao nível de coluna d'água sobre o qual é submetido. Este sinal após tratamento pelo sensor, é transformado em uma saída dentro da faixa de 4 a 20 mA.

O sensor possui alta linearidade, exatidão, sensibilidade e estabilidade, mas, para isso, a densidade do líquido deve ser mantida constante, pois a pressão é diretamente proporcional à densidade do líquido (Yuliza, 2016).

2.7 Instalações elétricas industriais

Ao iniciar um projeto elétrico, deve-se atentar ao desenvolvimento de suas ações e planejamento minucioso de um cronograma, com o intuito de evitar retrabalhos, desperdiçando tempo e dinheiro. A seguir, serão apresentadas as tratativas necessárias para o desenvolvimento metódico de uma instalação industrial.

2.7.1 Fatores de projeto

Com o intuito de não realizar sobredimensionamento de circuitos, superfaturando a obra, é necessário aplicar fatores aos cálculos elaborados, tais fatores possuem embasamento de pesquisa e são aplicados em ambientes de projetos industriais há décadas.

Pode-se listar dois fatores importantes utilizados em projetos. São eles o fator de demanda e fator de carga.

O primeiro refere-se a um comparativo entre a carga total instalada em um ambiente e seu consumo máximo ao longo de um determinado período, conforme equação 1.

$$Fd = \frac{D_{max}}{P_{inst}} \quad (1)$$

Sendo: Fd o fator demanda, D_{max} a demanda máxima em kw ou kva e P_{inst} potência de carga conectada em kw ou kva.

Já o fator de carga, normalmente analisado no período de um mês, relaciona o consumo total com a demanda máxima atingida no período selecionado.

A partir dessa informação, é possível identificar se há picos de consumo do usuário, e distribuí-los ao longo do dia, já que desta forma, otimiza-se os investimentos da instalação elétrica.

O fator de carga mensal pode ser calculado pela equação 2.

$$F_{cm} = \frac{C_{kwh}}{730 \times D_{max}} \quad (2)$$

Sendo: C_{kwh} o consumo de energia elétrica durante período tempo considerado e D_{max} a demanda máxima do sistema para o mesmo período em kw.

2.7.2 Tensão de fornecimento de energia

É de competência da distribuidora de energia local informar ao interessado a tensão de fornecimento de energia para a unidade consumidora, observando-se os seguintes requisitos:

- a) fornecimento em tensão secundária em rede aérea: quando a carga instalada na unidade consumidora for igual ou inferior a 75 kW;
- b) fornecimento em tensão primária de distribuição inferior a 69 kV: quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75kW e a demanda a ser contratada pelo interessado para o fornecimento for igual ou inferior a 2.500 kW;

- c) fornecimento em tensão primária de distribuição igual ou superior a 69 kV: quando a demanda a ser contratada pelo interessado para o fornecimento for superior a 2.500 kW. (MAMEDE, 2017).

2.7.3 Dimensionamento de condutores elétricos

O dimensionamento de um condutor deve ser precedido de uma análise detalhada das condições de sua instalação e da carga a ser suprida. Um condutor mal dimensionado, além de implicar a operação inadequada da carga, representa um elevado risco de incêndio para o patrimônio, principalmente quando existe associado um deficiente projeto de proteção. Os fatores básicos que envolvem o dimensionamento de um condutor são:

- a) tensão nominal;
- b) frequência nominal;
- c) potência ou corrente da carga a ser suprida;
- d) fator de potência da carga;
- e) tipo de sistema: monofásico, bifásico ou trifásico;
- f) método de instalação dos condutores;
- g) natureza de carga: iluminação, motores, capacitores, retificadores etc.;
- h) distância da carga ao ponto de suprimento. (MAMEDE, 2017)

2.7.4 Sistema de aterramento

Conforme a NBR5410:2004, utilizam-se duas ou três letras para identificar o tipo de aterramento a ser usado.

A primeira letra: situação da alimentação em relação à terra:

- a) T – um ponto diretamente aterrado;
- b) I – isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto por meio de uma impedância.

A segunda letra: indica a situação das massas em relação à terra:

a) T – massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto de alimentação;

b) N – massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado, sendo o ponto de aterramento, em corrente alternada, normalmente o ponto neutro.

Outras letras (eventuais): indicam a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:

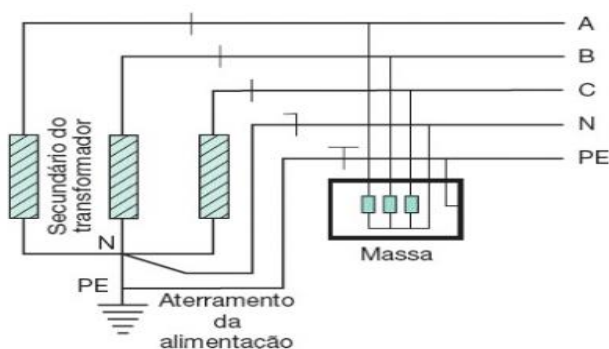
a) S – funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;

b) C – funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

Entre os sistemas TN, que possuem um ponto diretamente aterrado, e as massas, que são ligadas a este ponto por meio de condutores de proteção, é possível obter os tipos TN-S, TN-C e TN-C-S de aterramento.

Na Figura 15, a instalação consiste em TN-S, cujos condutores de terra e neutro são separados, logo, é considerada uma instalação a cinco condutores.

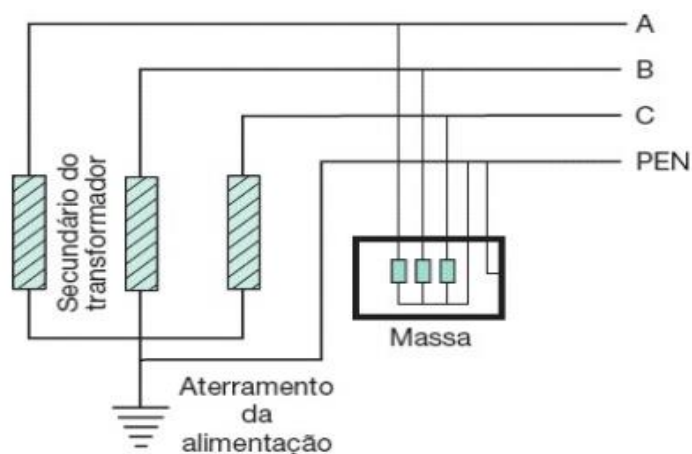
Figura 15 - Sistema trifásico TN-S



Fonte: Mamede (2017).

Já na Figura 16, pode-se observar uma junção entre os condutores de neutro e terra, caracterizando uma instalação TN-C.

Figura 16 - Sistema TN-C

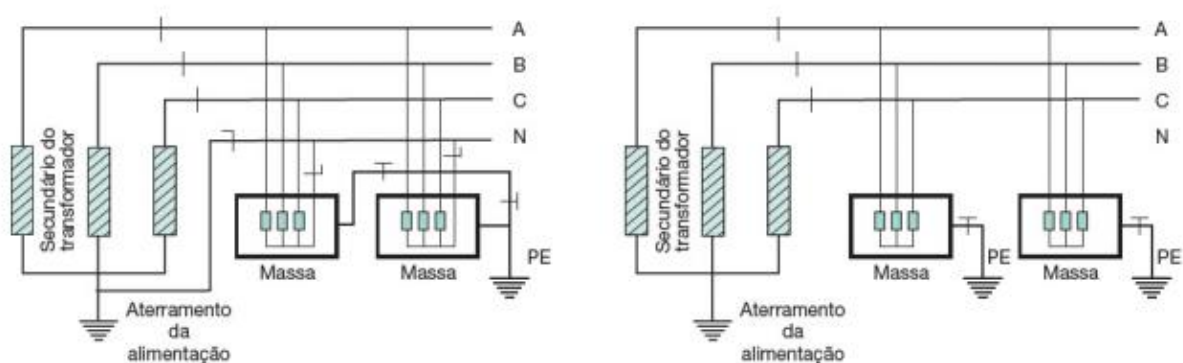


Fonte: Mamede (2017).

Nos sistemas TT, o ponto de alimentação é diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a eletrodos de aterramento independentes do eletrodo de alimentação.

Conforme a 17, esse sistema possui duas variações, podendo ser um terra único das massas ou então um terra por massa.

Figura 17 – Sistema TT



Fonte: Mamede (2017).

2.7.5 Critérios básicos para divisão de circuitos

Abaixo têm-se os critérios básicos para divisão de circuitos para os quais devem se:

- a) criar circuitos específicos para certas partes da instalação;
- b) criar condições nos quadros de comando e nos condutos que permitam futuras ampliações;
- c) distribuir de forma equilibrada as cargas monofásicas e bifásicas entre as fases;
- d) prever circuitos individualizados para tomadas e iluminação;

Em instalações onde existam diferentes fontes de alimentação por exemplo, alimentação do sistema da concessionária e geração própria, cada uma delas deve ser disposta separadamente, de forma diferenciada, não devendo compartilhar dutos, caixas de passagem ou quadro de distribuição.

2.7.6 Critérios para dimensionamento da seção mínima dos condutores fase

A seção mínima dos condutores elétricos deve satisfazer, simultaneamente, aos três critérios seguintes:

- a) Capacidade de condução de corrente ou simplesmente ampacidade.
- b) Limites de queda de tensão.
- c) Capacidade de condução de corrente de curto-circuito por tempo limitado. (Mamede, 2017)

2.7.6.1 Critério da capacidade de condução de corrente

Para definir a seção de condutores que alimentam as cargas analisadas, deve-se calcular a que corrente o mesmo estará submetido. A norma divide os cálculos em três partes, monofásico, bifásico e trifásico.

a) Circuitos monofásicos

Nos circuitos monofásicos, deve-se obedecer à Equação 3, onde

$$I_c = \frac{D_c}{V \cdot \cos(\theta)} \quad (3)$$

Sendo: I_c corrente de carga em amperes, D_c demanda carga em watts, V a tensão carga fase neutro em volts e $\cos(\theta)$ o fator de potência da carga.

b) Circuitos bifásicos simétricos (F-F-N)

Deve-se considerar o resultado de dois circuitos monofásicos, quando as cargas estão ligadas entre fase e neutro. Se há cargas ligadas entre fases, a corrente correspondente deve ser calculada conforme a equação 2, alterando-se o valor de tensão fase-neutro para a tensão fase-fase (Mamede, 2017)

c) Circuitos trifásicos

As condições a seguir são aplicadas a circuitos de três condutores (3F) ou circuitos a quatro condutores (3F + N). Considerando que os aparelhos estejam ligados equilibradamente entre fases ou entre fases e neutro, determinar-se a corrente de carga pela Equação 4.

$$I_c = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos(\theta)} \quad (4)$$

Sendo: I_c a corrente de carga em amperes, P_c a potência da carga em watts, V a tensão carga fase-fase em volts e $\cos(\theta)$ o fator de potência da carga.

2.7.6.2 Fatores de correção de corrente

Por padrão, os condutores são dimensionados em circuito único por conduto, a uma temperatura ambiente de 20°C para linhas subterrâneas e de 30°C para linhas não subterrâneas; caso haja uma diferença nesses aspectos, é necessário considerá-los no cálculo de corrente. Para isso, a norma também estipula valores de fatores de correção, que são apresentados no Quadro 2, e no Quadro 3.

Quadro 2 - Fatores de correção para temperaturas ambiente diferentes de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas

Temperatura °C	Isolação			
	PVC	EPR/XLPE	PVC	EPR/XLPE
	Ambiente		Solo	
10	1,22	1,15	1,1	1,07
15	1,17	1,12	1,05	1,04
20	1,12	1,08	1	1
25	1,06	1,04	0,95	0,96
30	1	1	0,89	0,93
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85
45	0,79	0,87	0,71	0,8
50	0,71	0,82	0,63	0,76
55	0,61	0,76	0,55	0,71
60	0,5	0,71	0,45	0,65
65	0,01	0,65	0,01	0,6
70	0,01	0,58	0,01	0,53
75	0,01	0,5	0,01	0,46
80	0,01	0,41	0,01	0,38

Fonte: NBR 5410 (2004).

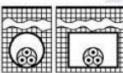
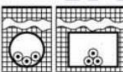
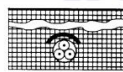
Quadro 3 - Fatores de correção para agrupamento de circuitos ou cabos multipolares, aplicáveis aos valores de capacidade de condução de corrente

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				38 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

Fonte: NBR 5410 (2004).

O segundo passo para a definição do condutor é saber qual o método de instalação a que ele está submetido, que é parcialmente apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 - Tipos de linhas elétricas

Tabela 33 (continuação)			
Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
52		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional	C
53		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D
61A		Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D
63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional	D

Fonte: NBR 5410 (2004).

Após o conhecimento do tipo de instalação elétrica a que será submetido, deve-se definir o tipo de isolamento no qual o cobre estará disposto, tendo em vista que a máxima capacidade de condução do condutor está unicamente baseada na máxima temperatura suportada por sua isolamento. Para isso, deve-se observar a Tabela 1

Tabela 1 - Temperaturas características dos condutores

Tabela 1 - Temperaturas características dos condutores

Tipo de isolamento	Temperatura máxima para serviço contínuo do condutor (°C)	Temperatura limite de sobrecarga do condutor (°C)	Temperatura limite de curto-circuito do condutor (°C)
Cloreto de polivinila (PVC)	70	100	160
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

Fonte: NBR 5410 (2004).

Após definir o tipo da isolamento do condutor, encontra-se na tabela o condutor que supre a corrente necessária, previamente calculada. Parte da tabela sugerida pela NBR5410 é apresentada na Tabela 2 a condutores a isolamento a PVC e na Tabela 3 a condutores com isolamento EPR, o qual contempla todos os métodos de instalação apresentados anteriormente, identificando condutores até a seção de 1000mm². Abaixo têm-se as tabelas de capacidade de condutores com isolamento PVC e EPR.

Tabela 2 - Capacidade de condutores de cobre 70 graus

Condutores: cobre e alumínio Isolação: PVC Temperatura no condutor: 70°C Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)												
Seções nominais mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179

Fonte: NBR 5410 (2004).

Tabela 3 - Capacidade de condutores de cobre 90 graus

Condutores: cobre e alumínio												
Isolação: EPR ou XLPE												
Temperatura no condutor: 90°C												
Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)												
Seções nominais mm²	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240

Fonte: NBR 5410 (2004).

Deve-se atentar as seções mínimas de condutores, de $1,5\text{mm}^2$ para circuitos de iluminação, e $2,5\text{mm}^2$ para circuitos de força e, por último, (MAMEDE, 2017). Deve-se obedecer, ainda aos seguintes critérios citados a seguir na instalação:

2.7.6.3 Critério do limite da queda de tensão

A última etapa do dimensionamento do condutor, é verificar se ele atende aos requisitos mínimos de queda de tensão estabelecidos pela NBR5410. Deve-se atentar às seguintes prescrições ao fazer o dimensionamento (MAMEDE, 2017).

- a) em nenhum caso, a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4 %;
- b) para o cálculo da queda de tensão em um circuito, deve ser utilizada a corrente de carga ou corrente de projeto;
- c) nos circuitos onde circulam componentes harmônicos, devem ser considerados os valores das correntes de diferentes ordens;
- d) nos circuitos de motor deve ser considerada a corrente nominal do motor vezes o fator de serviço, quando houver;
- e) Nos circuitos de capacitores devem ser considerados 135 % da corrente nominal do capacitor ou banco.

Além dessas informações, a norma NBR5410 fornece uma tabela com os limites de queda de tensão admissíveis para cada etapa da instalação, pode-se visualizar na Tabela 4.

Tabela 4 - Limites de Queda de Tensão

	Queda de tensão máxima permitida ($\Delta V\%$)
a) Calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s)	7%
b) Calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado	7%
c) Calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição	5%
d) Calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.	7%

Fonte: NBR 5410 (2004).

Calcula-se o valor percentual de queda de tensão em um determinado circuito. pode-se dividir a análise em duas etapas, sendo uma monofásica e a outro trifásica.

Em condições de sistemas monofásicos, o cálculo deve ser efetuado a partir da Equação 5,

$$S_{c1\Phi} = \frac{200 * \rho * \sum(Lc * Ic)}{\Delta Vc * Vfn} \quad (5)$$

Sendo ρ a resistividade do material 1/56, Lc o comprimento do circuito em metros, Ic a corrente total do circuito em amperes, ΔVc a queda de tensão máxima admitida em projeto em porcentagem e Vfn a tensão entre fase e neutro em volts.

Em circuitos trifásicos, a equação é semelhante, adicionando somente a relação angular trifásica e a mudança da tensão para fase-fase, conforme é possível observar na equação 6.

$$S_{c3\phi} = \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum (L_c * I_c)}{\Delta V_c * V_{ff}} \quad (6)$$

Sendo ρ a resistividade do material 1/56, L_c o comprimento do circuito em metros, I_c a corrente total do circuito em amperes, ΔV_c a queda de tensão máxima admitida em projeto em porcentagem e V_{ff} a tensão entre fase e fase em volts.

É comum utilizar-se dessas equações simplificadas, tendo em vista a alta diferença entre os valores de resistência e reatância, principalmente em condutores de seção menor que 25mm². Logo, a predominância do valor da queda de tensão é dada somente pela resistência do condutor.

3 METODOLOGIA

Nesta seção, apresentará o dimensionamento de inversores, *soft-starters*, disjuntores e contadores, componentes estes que são aplicados no sistema de automação de captação de água. Também será explorado o fluxo de programa e decisões de controle do sistema, responsável de controlar os níveis das cisternas sem transbordo sendo o fluxo médio de consumo de $45\text{m}^3/\text{h}$, ou seja, aproximadamente 33.480.000 litros por mês, propósito exploratório deste trabalho.

A pesquisa é caracterizada como uma pesquisa aplicada, visto que foram estudados conceitos teóricos e esses foram empregados na prática para a elaboração do projeto de controle e automação. Além disso, pode ser caracterizada, do ponto de vista dos procedimentos técnicos, como uma pesquisa experimental, visto que se elaborou um projeto de controle de um sistema de captação d'água e realizaram-se os testes necessários para colocar o projeto em prática.

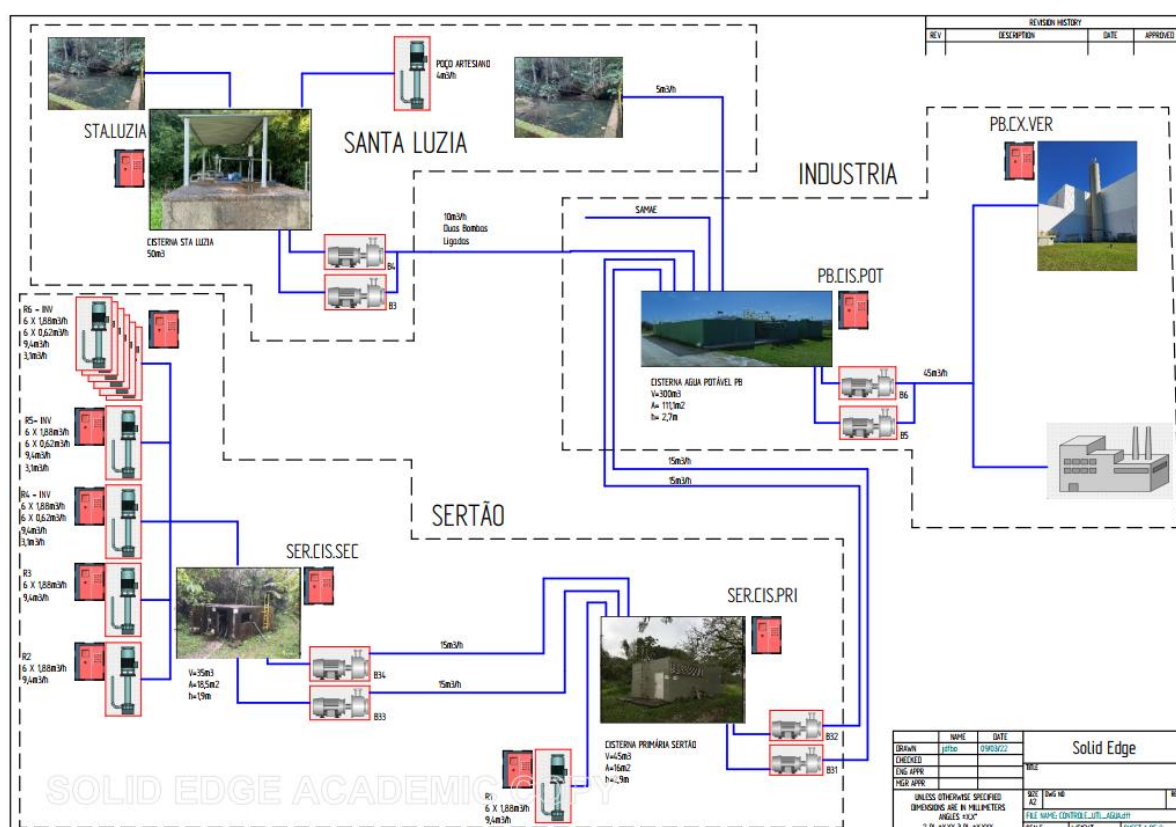
Para entendimento inicial do projeto, será apresentado a visão geral dos sistemas de captação de água.

Este sistema é composto por trinta eletrobombas de 1,5CV, que são ponteiros de captação, oito motores para transporte da água, entre quatro cisternas existentes, uma barreira de captação e uma caixa d'água vertical. Estes motores são de potência entre dez à trinta Cavalos Vapor.

Na Figura 18, pode-se observar as três partes que compõe o sistema. São elas: Indústria, Santa Luzia e Sertão. A Indústria é onde se encontra a fábrica, logo, onde há o consumo de água; Santa Luzia e Sertão são as duas áreas de captação de água. No Sertão, existem duas cisternas, uma secundária de 35m^3 e uma primária de 45m^3 , onde 80% das ponteiros abastecem a cisterna secundária. Essas ponteiros foram divididas em seis painéis (R1 a R6), sendo seis ponteiros acionadas por painel, totalizando trinta e seis. Tais painéis foram distribuídos fisicamente o mais próximo possível dos grupos de captação de água, as ponteiros. A cisterna secundária abastece a cisterna primária do Sertão, por meio de duas bombas de transporte, B33 e B34. A cisterna do Sertão, por sua vez, recebe a água da cisterna secundária e das ponteiros do painel R1, abastecendo a cisterna da Indústria, cujo volume é de 300m^3 . Essa água é transportada pelas bombas B31 e B32. Outro ponto de

abastecimento da cisterna da Indústria é Santa Luzia, de onde duas bombas bombeiam $10\text{m}^3/\text{h}$, B3 e B4 e uma linha de gravidade em torno de $10\text{m}^3/\text{h}$. A soma desses pontos de captação é de pôr volta de $45\text{m}^3/\text{h}$. Por fim duas bombas são encarregadas de abastecer a caixa d'água vertical e enviar água para todo complexo fabril, B5 e B6.

Figura 18 - Visão geral do sistema de captação de água



Fonte: Elaboração própria (2022).

Os pontos de captação de água encontram-se a alguns quilômetros de distância do ponto de consumo. Toda a transferência de efluentes é feita por meio de tubulações subterrâneas. A Figura 18 pode ser melhor visualizada no apêndice A.

3.1 Dimensionamento componentes

O dimensionamento correto dos componentes do projeto é de vital importância para o correto funcionamento sistema. Baseado nos métodos teóricos

da seção 2 e em catálogos de fornecedores, projetaram-se todos os componentes elétricos e eletrônicos do sistema de captação d'água.

3.1.1 Contatores

O dimensionamento dos contatores, utilizou-se a linha SIRIUS da fabricante Siemens, que fornece uma tabela para dimensionamento dos contatores a partir da potência em CV do motor que será acionado, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Características contatores 3RT Siemens

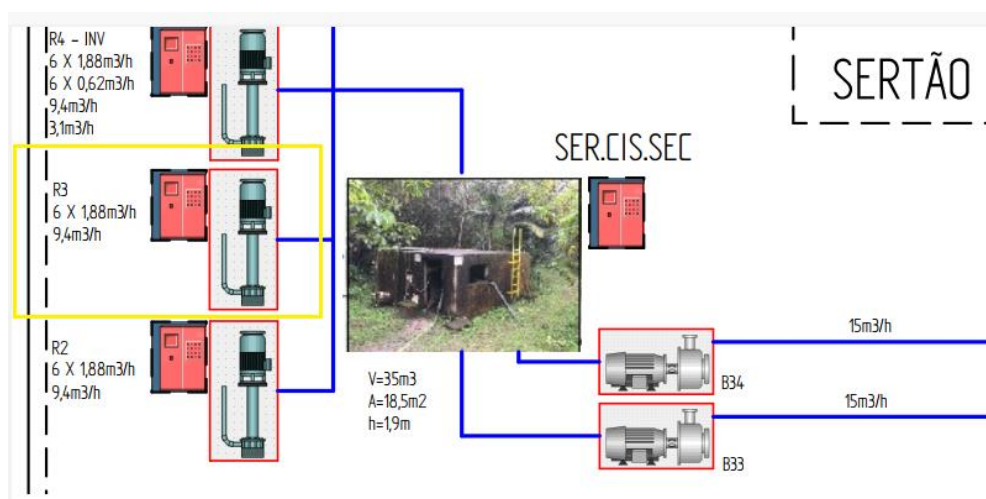
Potência máx. cv / kW ¹⁾	Corrente máxima AC-3 (A)	Corrente máxima AC-1 (A)	Tipo - Conexão Mola ³⁾		Contato Auxiliar	Tamanho
			220V (50/60Hz)	24 VCC ⁴⁾		
4 / 3	7	18	3RT2015-2AN21	3RT2015-2BB41	1NA	S00
4 / 3	7	18	3RT2015-2AN22	3RT2015-2BB42	1NF	S00
5 / 4	9	22	3RT2016-2AN21	3RT2016-2BB41	1NA	S00
5 / 4	9	22	3RT2016-2AN22	3RT2016-2BB42	1NF	S00
7,5 / 5,5	12	22	3RT2017-2AN21	3RT2017-2BB41	1NA	S00
7,5 / 5,5	12	22	3RT2017-2AN22	3RT2017-2BB42	1NF	S00
10 / 7,5	16	22	3RT2018-2AN21	3RT2018-2BB41	1NA	S00
10 / 7,5	16	22	3RT2018-2AN22	3RT2018-2BB42	1NF	S00
5 / 4	9	40	3RT2023-2AN20	3RT2023-2BB40	1NA + 1NF	S0
7,5 / 5,5	12	40	3RT2024-2AN20	3RT2024-2BB40	1NA + 1NF	S0
10 / 7,5	17	40	3RT2025-2AN20	3RT2025-2BB40	1NA + 1NF	S0
15 / 11	25	40	3RT2026-2AN20	3RT2026-2BB40	1NA + 1NF	S0
20 / 15	32	50	3RT2027-2AN20	3RT2027-2BB40	1NA + 1NF	S0
25 / 18,5	38	50	3RT2028-2AN20	3RT2028-2BB40	1NA + 1NF	S0
25 / 18,5	40	60	3RT2035-3AN20	3RT2035-3NB30	1NA + 1NF	S2
30 / 22	50	70	3RT2036-3AN20	3RT2036-3NB30	1NA + 1NF	S2
40 / 30	65	80	3RT2037-3AN20	3RT2037-3NB30	1NA + 1NF	S2
50 / 37	80	90	3RT2038-3AN20	3RT2038-3NB30	1NA + 1NF	S2
50 / 37	80	125	3RT2045-3AN20	3RT2045-3NB30	1NA + 1NF	S3
60 / 45	95	130	3RT2046-3AN20	3RT2046-3NB30	1NA + 1NF	S3
75 / 55	110	130	3RT2047-3AL20 ²⁾	3RT2047-3NB30	1NA + 1NF	S3

Fonte: Siemens Contatores (2022).

Ao obter-se a informação de potência do motor, e da tensão de comando, é possível definir o modelo do contator que será utilizado na instalação. Neste projeto várias potências de motores foram utilizadas. Para exemplificar um dos motores mais utilizados, as eletrobombas ponteiiras, com 1,5CV, trinta unidades instaladas, previstas no projeto até quarenta e quatro, utilizam o contactor 3RT2015-2AN21 220VAC 1NA 220V S00 conforme Tabela 5. Das quarenta e quatro ponteiiras do sistema de captação, vinte e seis são acionadas por partida direta, utilizando o contator dimensionado acima.

Primeiramente, será selecionado o painel R3, presente no setor do Sertão, o qual possui acionamento por chave de partida direta. É possível visualizar o detalhe do posicionamento do mesmo na Figura 19.

Figura 19 - Localização do painel R3 na visão geral



Fonte: Elaboração própria (2022).

3.1.2 Disjuntor motor

Para os disjuntores-motor a situação é a mesma, basta identificar no catálogo a potência máxima do motor, conforme é possível observar na Tabela 6.

Tabela 6 - Características Disjuntor-motor 3RV Siemens

Potência máx. cv / kW ¹⁾	Faixa de ajuste de sobrecarga (A)	Corrente instantânea (A)	Capacidade de curto circuito I _{cu} (kA) ³⁾	Tipo - Conexão mola sem contatos auxiliares ²⁾	Tamanho
0,05 / 0,04	0,11 - 0,16	2,1	100	3RV2011-0AA20	S00
0,08 / 0,06	0,14 - 0,2	2,6	100	3RV2011-0BA20	S00
0,08 / 0,06	0,18 - 0,25	3,3	100	3RV2011-0CA20	S00
0,12 / 0,09	0,22 - 0,32	4,2	100	3RV2011-0DA20	S00
0,12 / 0,09	0,28 - 0,4	5,2	100	3RV2011-0EA20	S00
0,16 / 0,12	0,35 - 0,5	6,5	100	3RV2011-0FA20	S00
0,25 / 0,18	0,45 - 0,63	8,2	100	3RV2011-0GA20	S00
0,25 / 0,18	0,55 - 0,8	10	100	3RV2011-0HA20	S00
0,33 / 0,25	0,7 - 1	13	100	3RV2011-0JA20	S00
0,5 / 0,37	0,9 - 1,25	16	100	3RV2011-0KA20	S00
0,75 / 0,55	1,1 - 1,6	21	100	3RV2011-1AA20	S00
1 / 0,75	1,4 - 2	26	100	3RV2011-1BA20	S00
1 / 0,75	1,8 - 2,5	33	100	3RV2011-1CA20	S00
1,5 / 1,1	2,2 - 3,2	42	100	3RV2011-1DA20	S00
2 / 1,5	2,8 - 4	52	100	3RV2011-1EA20	S00
2 / 1,5	3,5 - 5	65	100	3RV2011-1FA20	S00
3 / 2,2	4,5 - 6,3	82	100	3RV2011-1GA20	S00
4 / 3	5,5 - 8	104	100	3RV2011-1HA20	S00
6 / 4,5	7 - 10	130	100	3RV2011-1JA20	S00
7,5 / 5,5	9 - 12,5	163	100	3RV2011-1KA20	S00
10 / 7,5	10 - 16	208	55	3RV2011-4AA20	S00

Fonte: Siemens Disjuntor (2022).

O fabricante disponibiliza disjuntores até 45kW, disponíveis também em seu catálogo comercial para compra. Para o exemplo das eletrobombas, o disjuntor escolhido é disjuntor motor 1,8-2,5 3RV2011-1BA20, devido a corrente da bomba na tensão de 380V ser de 2,29 A.

3.1.3 Inversores

Quanto ao dimensionamento de inversores de frequência, inicialmente foi selecionado o fabricante WEG, diferente dos componentes anteriores. A linha de produtos que mais se adequou ao exigido para esse processo foi o CFW300, que possui uma tabela de dimensionamento conforme a máxima potência do motor em kW, conforme Tabela 7. Para o exemplo do motor de 1,5CV, escolheu-se o inversor CFW300A03P5T4NB20 380VAC 2CV 3,5 A. Das quarenta e quatro, dezoito unidades são acionadas por inversor.

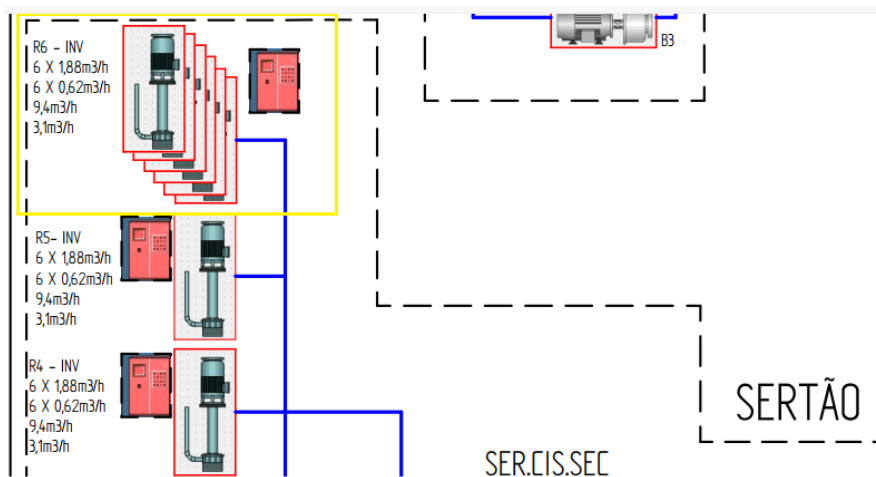
Tabela 7 - Catálogo de instalação inversor CFW300 WEG

Reference	Variable speed drive CFW300 ²⁾				Maximum applicable motor ¹⁾		
	Power supply (V)	Frame size	IGBT braking	Rated output current (A)	Power supply (V)	HP	kW
CFW300A01P6S1NB20	110-127	Single-phase	A	Not available	220	0.25	0.18
CFW300A02P6S1NB20						0.5	0.37
CFW300A04P2S1NB20						1	0.75
CFW300A06P0S1NB20						1.5	1.1
CFW300A01P6S2NB20						0.25	0.18
CFW300A02P6S2NB20						0.5	0.37
CFW300A04P2S2NB20						1	0.75
CFW300A06P0S2NB20						1.5	1.1
CFW300A07P3S2NB20						2	1.5
CFW300B10P0B2DB20						3	2.2
CFW300A01P6T2NB20	200-240	Single-phase	A	Not available	220	0.25	0.18
CFW300A02P6T2NB20						0.5	0.37
CFW300A04P2T2NB20						1	0.75
CFW300A06P0T2NB20						1.5	1.1
CFW300A07P3T2NB20						2	1.5
CFW300B10P0B2DB20						3	2.2
CFW300B15P2T2DB20						5	3.7
CFW300A01P1T4NB20						0.5	0.37
CFW300A01P8T4NB20						1	0.75
CFW300A02P6T4NB20						1.5	1.1
CFW300A03P5T4NB20	380-415	Single-phase ou Three-phase	A	Not available	380	2	1.5
CFW300A04P8T4NB20						3	2.2
CFW300B06P5T4NB20						4	3
CFW300B08P2T4NB20						5	3.7
CFW300C10P0T4NB20						6	4.5
CFW300C12P0T4NB20						7.5	5.5
CFW300C15P0T4NB20						10	7.5
CFW300B01P1T4DB20						0.5	0.37
CFW300B01P8T4DB20						1	0.75
CFW300B02P6T4DB20						1.5	1.1
CFW300B03P5T4DB20	380-415	Three-phase	B	Built-in	380	2	1.5
CFW300B04P8T4DB20						3	2.2
CFW300B06P5T4DB20						4	3
CFW300B08P2T4DB20						5	3.7
CFW300C10P0T4DB20						6	4.5
CFW300C12P0T4DB20						7.5	5.5
CFW300C15P0T4DB20						10	7.5
CFW300B01P1T4DB20						0.5	0.37
CFW300B01P8T4DB20						1	0.75
CFW300B02P6T4DB20						1.5	1.1

Fonte: WEG Inversores (2022).

No exemplo com inversor de frequência, as cargas são iguais; porém, foram dimensionadas com um inversor de frequência para permitir o controle de vazão sem a necessidade de desligar por completo a ponteira. Na Figura 20 é possível visualizar a localização das bombas no layout.

Figura 20 - Localização do painel R6 na visão geral



Fonte: Elaboração própria (2022).

O inversor de frequência será o CFW300A03P5T4NB2, pois, conforme está disponibilizado no catálogo do fabricante, possui um limite de corrente de 3,5A.

3.1.4 Soft-starters

Assim como nos demais componentes, o dimensionamento das *soft-starters* também é feito a partir da máxima potência do motor, a qual varia também de acordo com a tensão nominal aplicada ao motor. Na Tabela 8 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta-se a tabela fornecida pela WEG, para seleção da *soft-starter* dos modelos SSW07 e SSW08 para motores trifásicos.

Tabela 8 - Catálogo de instalação Soft-Starter SSW07/SSW08 WEG

SSW07/08	Tamanho	Corrente nominal (A)	Máximo motor aplicável									
			220/230 V		380/400 V		440/460 V		525 V		575 V	
			cv	kW	cv	kW	cv	kW	cv	kW	cv	kW
SSW0□0017T5SZ	1	17	6	4,5	10	7,5	12,5	9,2	15	11	15	11
SSW0□0024T5SZ		24	7,5	5,5	15	11	15	11	20	15	20	15
SSW0□0030T5SZ		30	10	7,5	20	15	20	15	25	18,5	30	22
SSW0□0045T5SZ	2	45	15	11	30	22	30	22	40	30	40	30
SSW0□0061T5SZ		61	20	15	40	30	50	37	50	37	60	45
SSW0□0085T5SZ		85	30	22	60	40	60	45	75	55	75	55
SSW0□0130T5SZ	3	130	50	37	75	55	100	75	125	90	125	90
SSW0□0171T5SZ		171	60	45	125	90	125	90	150	110	175	132
SSW0□0200T5SZ		200	75	55	125	90	150	110	200	150	200	150
SSW0□0255T5SH0Z	4	255	100	75	175	130	200	150	250	185	250	185
SSW0□0312T5SH0Z		312	125	90	200	150	250	185	300	220	300	220
SSW0□0365T5SH0Z		365	150	110	250	185	300	220	350	260	350	260
SSW0□0412T5SH0Z		412	150	110	300	220	350	260	440	315	450	330

Fonte: WEG Soft-Starter SSW07 (2022).

Com exceção das ponteiras, todos os motores são acionados com *soft-starter*. Utilizou-se a *soft-starter* SSW070045T5SZ para os motores de 30 CV, conforme Tabela 8.

3.1.5 Cabos

A fim de resumir a etapa matemática da automação, foram selecionados dois painéis para demonstração de cálculos, os quais foram aplicados a todos os

módulos, apenas com pequenas variações geradas por números diferentes de motores ou, então, por potências diferentes aplicadas a cada situação.

Como exemplo do R3, neste painel em específico, serão utilizadas 6 bombas de 1,5CV, 380V, 2,29A e um fator de potência de 0,87 indutivo. A partir dessas informações foi mostrado nas Equações 7,8, e 9.

$$P_{R3} = N_{BOMBAS} * \sqrt{3} * V_{BOMBA} * I_{BOMBA} * \theta_{BOMBA} \quad (7)$$

$$P_{R3} = 6 * \sqrt{3} * 380 * 2,29 * 0,87 = 7867,74 (W)$$

$$S_{R3} = N_{BOMBAS} * \sqrt{3} * V_{BOMBA} * I_{BOMBA} \quad (8)$$

$$S_{R3} = 6 * \sqrt{3} * 380 * 2,29 = 9043,38 (VA)$$

$$I_{R3} = N_{BOMBAS} * I_{BOMBA} \quad (9)$$

$$I_{R3} = 6 * 2,29 = 13,74 (A)$$

A partir da corrente calculada, foi considerado 14,5 A trifásico, considerando uma folga para os circuitos auxiliares.

Para condicionar a seção do condutor, é primordial antes verificar se obedece aos limites máximos de queda de tensão mencionados anteriormente, como nenhum trecho ultrapassará 100 metros, foi considerado essa a máxima distância, segue cálculo utilizando a equação 6:

$$S_{c3\phi} = \frac{100 * \sqrt{3} * \frac{1}{56} * 100 * 14,5}{3 * 380} = 3,934 (mm^2)$$

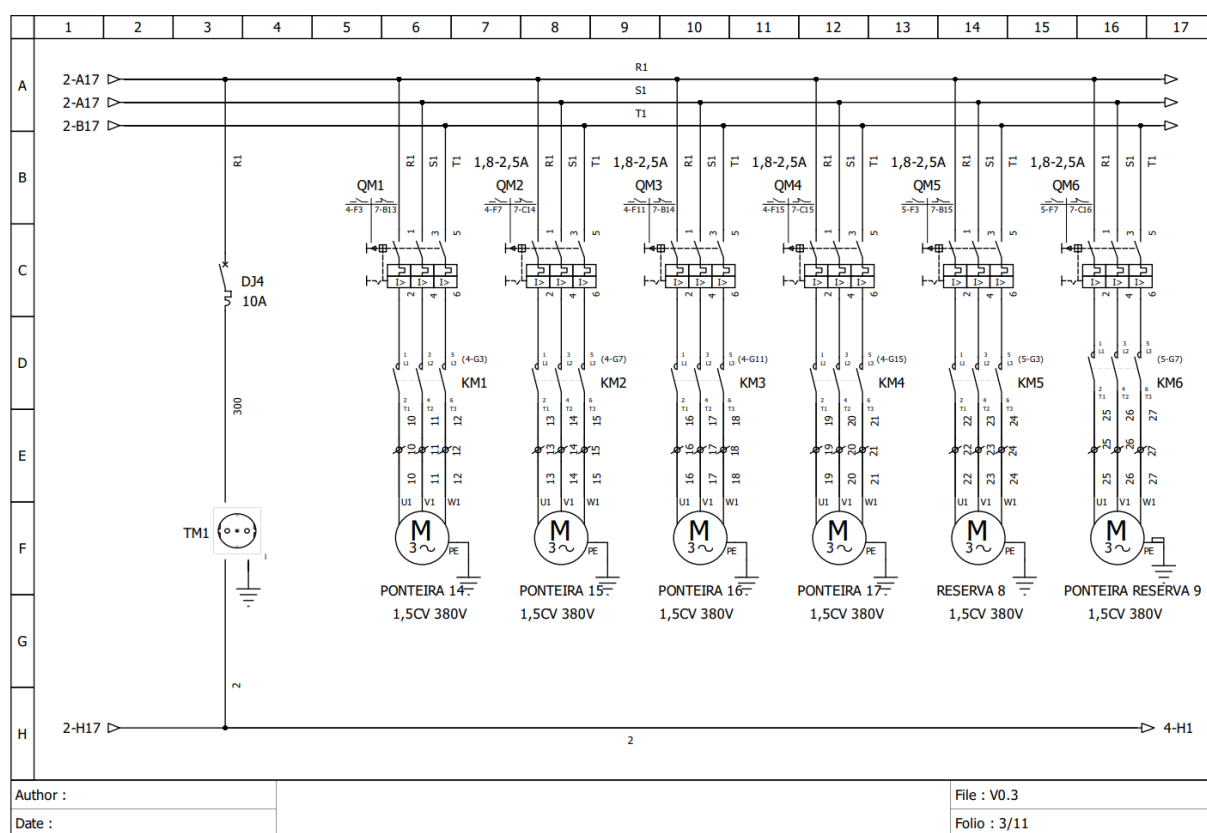
Finalizado o cálculo, considerar-se-á um condutor EPR de 4x4mm² para alimentação e um disjuntor geral de 25A; um contator geral do modelo 3RT2018-2AN21 que suporta 16A; uma chave geral seccionadora 32A tripolar KP1-32-3P Metaltex.

O sistema de aterramento utilizado é o TN-S, conforme

Figura 15, composto a cinco fios. Este sistema é o atual utilizado nessa indústria.

É de extrema importância que o projeto venha acompanhado do diagrama elétrico, que contém todas as informações de dimensionamento e especificações de proteções, cabos, comando, iluminação e lista de materiais. Por se tratar de um projeto de grandes dimensões, com uma série de painéis envolvidos, ele apresenta-se com uma quantidade imensa de páginas de diagramas multifilares. Na Figura 21, é demonstrado uma das páginas do painel R3, dimensionada anteriormente.

Figura 21 - Diagrama multifilar painel R3



Fonte: Elaboração própria (2022).

A partir da Figura 21, é possível observar os modelos de contadores e disjuntores-motor, calculados anteriormente, para o motor especificado de 1,5CV.

Além dessas informações, o diagrama multifilar contém endereçamentos, diagramas de entrada e saídas do CLP, sistema de comando Remoto/Local, bornes de conexão e lista de materiais. Cada painel possui seu

diagrama específico, o qual será disponibilizado aos eletricitas, pois, em caso de alguma manutenção, eles terão uma referência para compreensão do sistema.

3.1.6 Sensor nível hidrostático

Os sensores de níveis utilizados neste projeto são do fornecedor Alfa Equipamentos. Este sensor pode medir até 8m de coluna d'água. Ele já trata o sinal e como saída têm-se um sinal de 4-20mA proporcional ao nível de coluna d'água sobre o sensor. Na figura 22 tem-se a foto do sensor.

Figura 22 - Sensor de Nível

	SONDA DE NÍVEL HIDROSTÁTICA 8 MCA Sonda de Nível hidrostático, invólucro totalmente em aço inox 316. Sensor piezorresistivo em aço inox aisi 316 L. Faixa de trabalho de 0/8 MCA. Sinal de saída 4/20 mA a 2 fios. Alimentação de 5/28 Vcc. Precisão de 0,25% FE. 8 Metros de cabos (padrão) Classificação do invólucro IP68.
--	---

Fonte: ALFA Equipamentos (2022).

Ao total, foram usados 12 sensores, sendo as leituras dos níveis das cisternas, caixa d'água e lençol freático.

3.2 Automação

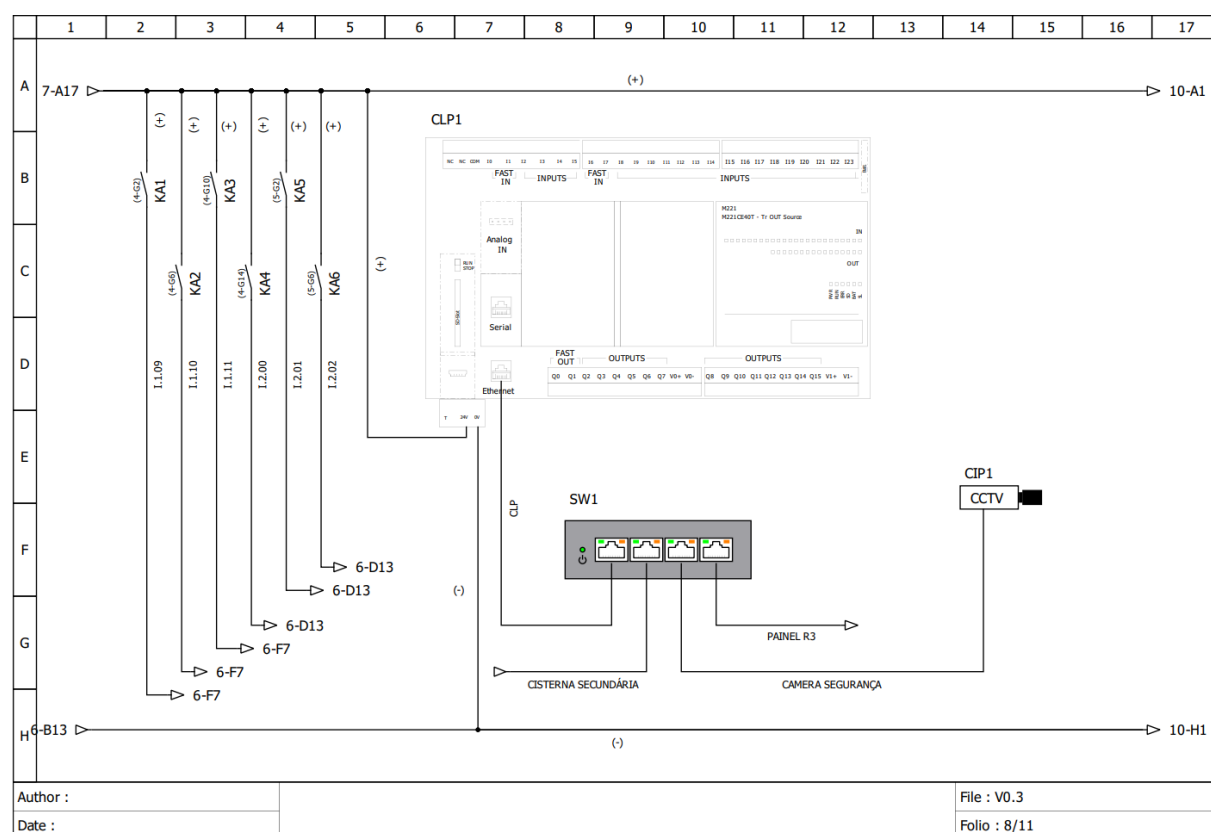
Todos os setores possuem comunicação, seja para informar a um supervisor se a bomba d'água está ligada, qual o nível de altura do reservatório ou se há algum erro de funcionamento no sistema.

A automação, de forma geral, foi feita por meio de Controladores Lógicos Programáveis (CLP), do fabricante Omron, cujo modelo escolhido foi o CLP CP2E N60DR-D 24VDC 36I 24O. Este clp possui trinta e seis entradas digitais, vinte e

as distâncias quilométricas entre as captações de água, foi necessário uso de fibra ótica para garantir a qualidade da comunicação entre os setores, a fim de priorizar a segurança e estabilidade da automação. A Figura 23 pode ser melhor visualizada no apêndice B.

Já na Figura 24, observa-se o parte do esquemático de comunicação do CLP, incluindo a conexão para a rede de monitoramento por vídeo.

Figura 24 - Esquemático



Fonte: Elaboração própria (2022).

3.2.1 Mapa de memória do sistema

Construiu-se a integração de onzes painéis, oito no Sertão, um em Santa Luzia e dois na Indústria, definindo-se um mapa de memória nas CLP, onde cada CLP é responsável em escrever em uma parte desta memória. São dados segmentados por área e compartilhados via rede com as demais CLPs. Abaixo têm-se a tabela de memórias do sistema.

Tabela 9 - Memórias do Sistema

MAPA TROCAS DE MEMÓRIAS										
REDE 1	REDE 1	REDE 2	REDE 2	REDE 2	REDE 2	REDE 2	REDE 2	REDE 2	REDE 2	REDE 3
PB_CIS_POT	PB_CIS_VER	SER_CIS_PRI	SER_CIS_SEC	R1	R2	R3	R4	R5	R6	STLUZIA
D0..31	→									→
←	D32..63	→								→
←		D64..95	→	→						→
←		←	D96..127		→	→	→	→	→	→
←		←		D128..159						→
←		←			D160..191					→
←		←				D192..223				→
←		←					D224..255			→
←		←						D256..287		→
←		←							D288..319	→
←		←								D320..351
←		←								←

Fonte: Elaboração própria (2022).

Verificou-se na Figura 18, o sistema é composto de três redes principais, indústria, Sertão e Santa Luzia. Indústria é a rede interna da indústria existente, onde duas sub redes são usadas; ela conecta os painéis Cisterna Potável, Caixa Vertical e o servidor E3 Elipse. Sertão, é a rede do Sertão, conecta Cisterna Principal, Cisterna Secundária, R1, R2, R3, R4, R5 e R6. Por fim, Santa Luzia é a rede da Santa Luzia, conecta o painel da Santa Luzia com o sistema.

Conforme Tabela 9, D0..31 é a área em que a Cisterna Potável da Indústria é responsável por escrever no bloco de memória. D0 é uma área de memória, chamada de “*Data Memory*”, memória 16 bits de propósito geral disponível na CLP. Como o Sistema é interligado por rede, a CLP escreve nas outras CLPs uma imagem de suas memórias, da área de memória D0 a D31. São transferidas 32 memórias de 16 bits às CLP’s dos sistemas que necessitam da informação. No exemplo da Cisterna Potável da Indústria, seu nível é de extrema importância para Sertão Cisterna Primária, Santa Luzia e Caixa Vertical da Indústria. Na tabela 10 tem-se uma parte do mapa de memória de uma das CPLs.

Tabela 10 - Mapa de Memória PB_CIS_POT

Cisterna Potável Industria (PB_CIS_POT)		
IN.D 00	PB_CIS_POT_CANAL ENTRADA 01	DM.0000
IN.D 01	PB_CIS_POT_CANAL ENTRADA 01	DM.0001
IN.D 02	PB_CIS_POT_CANAL ENTRADA 01	DM.0002
IN.A 01	PB_CIS_POT_NÍVEL CAIXA	DM.0003
IN.A 02	PB_CIS_POT_RESERVA	DM.0004
IN.A 03	PB_CIS_POT_RESERVA	DM.0005
IN.A 04	PB_CIS_POT_RESERVA	DM.0006
OUT.D 100	PB_CIS_POT_CANAL SAÍDA 100	DM.0007
OUT.D 101	PB_CIS_POT_CANAL SAÍDA 101	DM.0008
OUT.D 102	PB_CIS_POT_CANAL SAÍDA 100	DM.0009
OUT.A 01	PB_CIS_POT_CANAL SAÍDA 101	DM.0010
OUT.A 02	PB_CIS_POT_CANAL SAÍDA 102	DM.0011
MEM (D440)	PB_CIS_POT_CONTROLE COMUNICAÇÃO	DM.0012
MEM (D450)	PB_CIS_POT_SET_POINT_NÍVEL_CAIXA	DM.0013
MEM (W2)	PB_CIS_POT_ALARME	DM.0014
...		

Fonte: Elaboração própria (2022).

Conforme Tabela 10, pode se perceber que a área de memória DM.0000, da Cisterna Potável da Industria, é o espelho do canal de entrada desta CLP. Na DM0003 tem-se o nível desta cisterna. O mapa de entrada do Canal 1 desta CLP observa-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Canal Entrada 00 da PB_CIS_POT

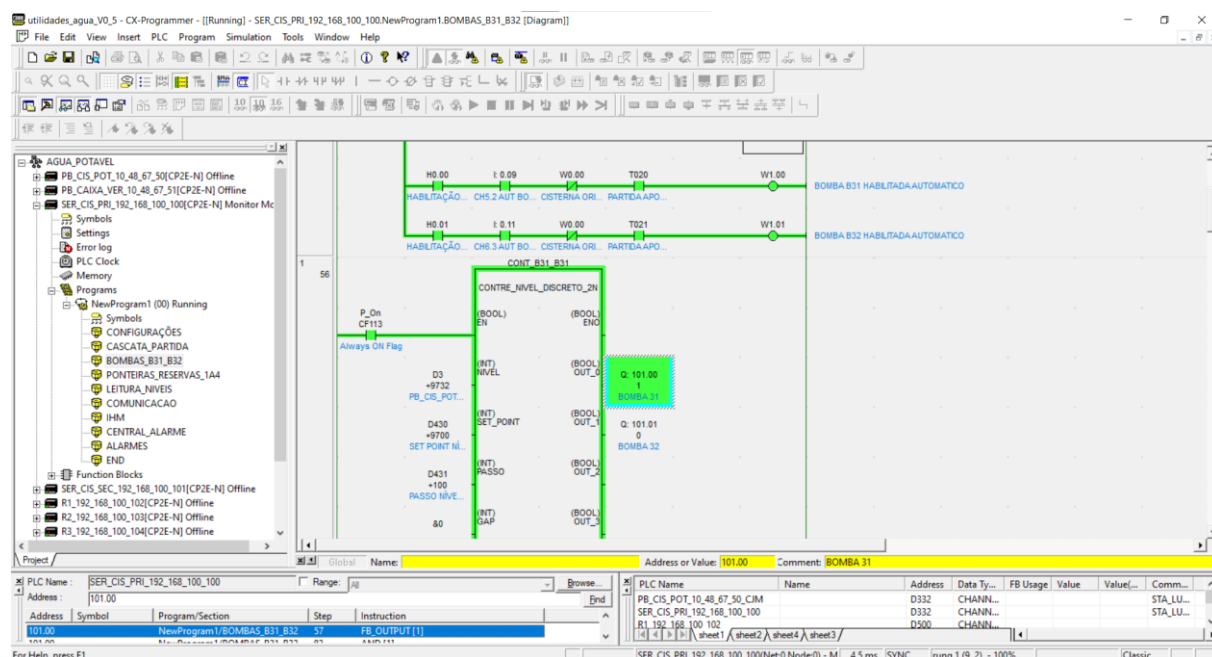
IN.D 00	
0.00	HDR12 HIDROMETRO SAMAE
0.01	HDR13 HIDROMETRO SANTA LUZIA BOMBA
0.02	HDR14 HIDROMETRO SANTA LUZIA GRAVIDADE
0.03	HDR15 HIDROMETRO SERTÃO B31 (LADO PB)
0.04	HDR16 HIDROMETRO SERTÃO B32 (MEIO)
0.05	KMG
....	

Fonte Elaboração própria (2022).

3.2.2 Programa CLP

As CPLs utilizadas neste projeto são do fabricante Omron o qual o fabricante disponibiliza um pacote de software de configuração e programação de toda sua linha de produtos. No caso das CLPs, a suíte de programação utilizada é o CX. A Figura 25 mostra a interface de programação.

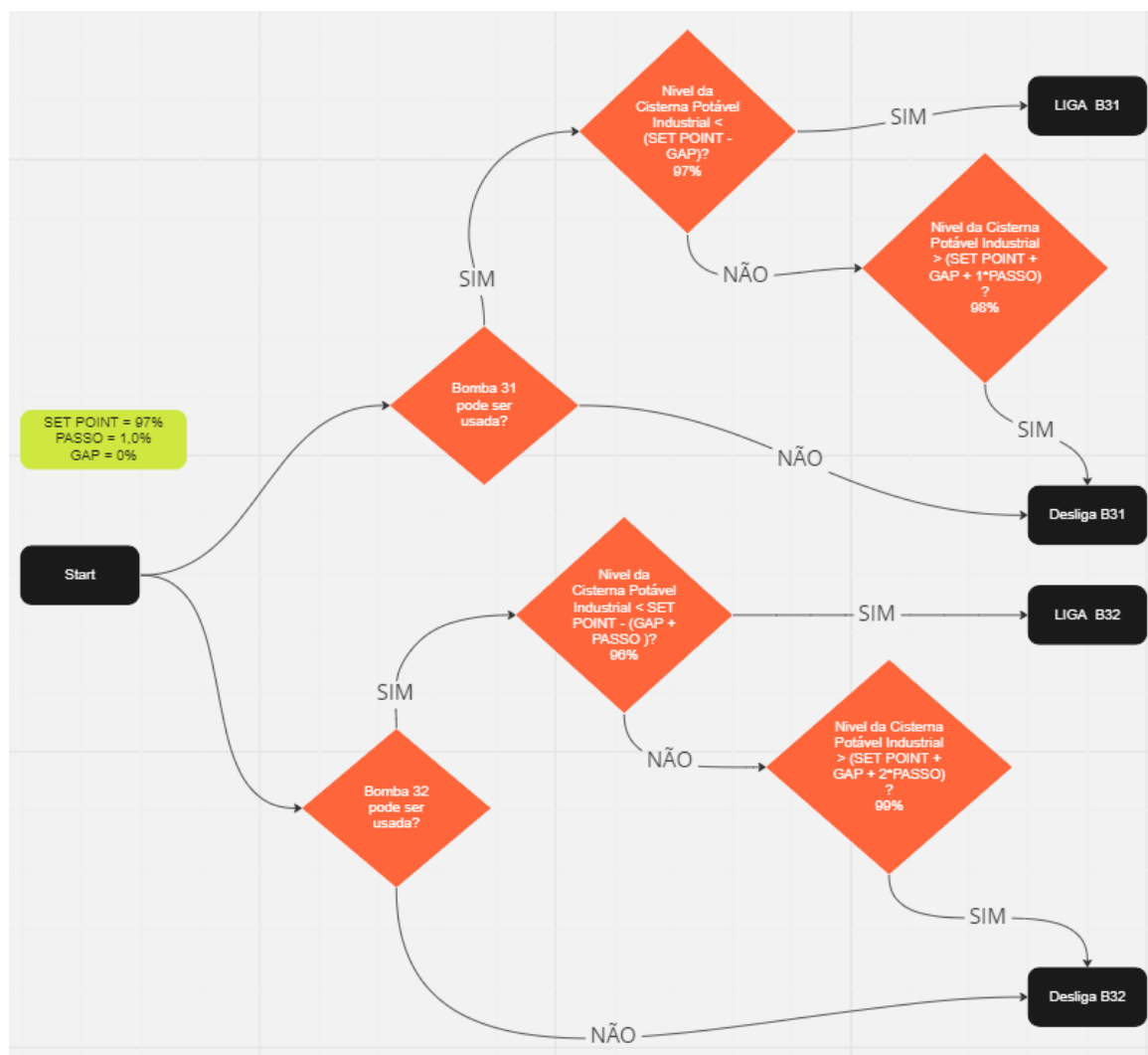
Figura 25 - Interface Programação CLP



Fonte: Software CX Programa (2022).

Os CPLs necessitam de um programa para executar, cuja lógica depende das funções necessárias para a automação. Criou-se onze programas, um para cada CLP do sistema, sendo cada programa responsável por uma parte do sistema. Internamente a cada programa, foram desenvolvidas lógicas de operação específicas, como por exemplo, configurações, cascatas de partida, bombas e assim por diante. A implementação dessas rotinas foram feitas empregando-se a linguagem *ladder*. Entretanto, dado a necessidade de criação de estruturas de programação, foram criados blocos. Há também trechos implementados na forma de texto estruturado, mostrando que a implementação e desenvolvimento de uma aplicação em CLP pode e muitas vezes necessita integrar essas formas de programação. A Figura 26 apresenta alguns fluxos de decisões, que pode ser melhor visualizada no apêndice B.

Figura 26 - Fluxograma Controle Bombas B31 e B32



Fonte: Elaboração própria (2022).

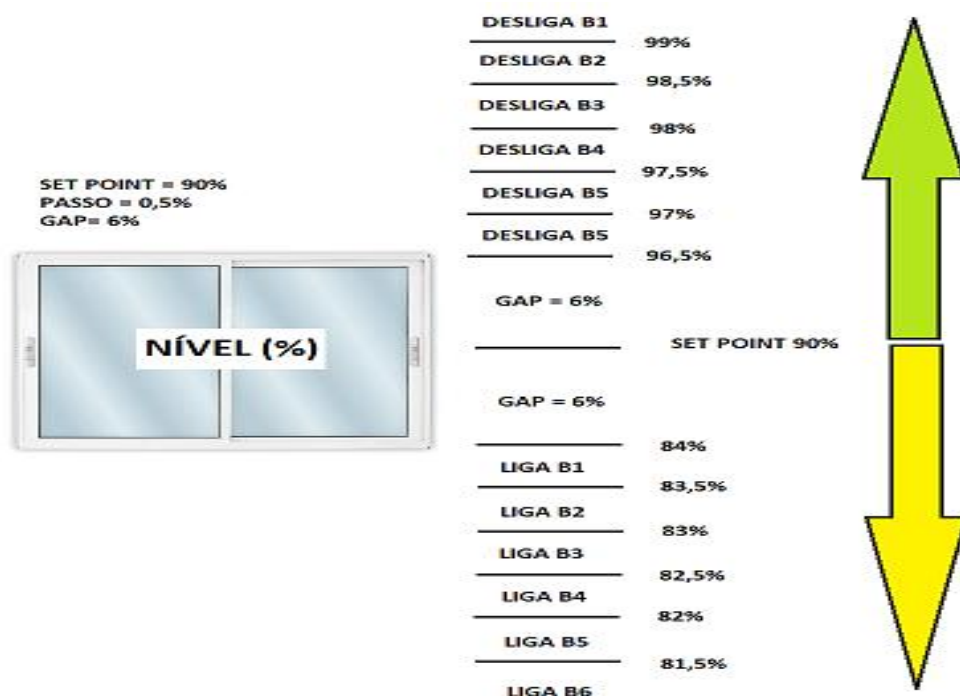
Foi implementado para controlar os níveis das cisternas, uma solução que faz o acionamento escalonado das bombas. Isso evita que algumas bombas trabalhem em um regime liga-desliga de ciclos curtos, que evidentemente é prejudicial ao equipamento a longo prazo, enquanto outras permanecem operando em longos períodos.

Verifica-se na Figura 26, que o comando das bombas 31 e 32 dependem de uma autorização de uso e o nível da Cisterna Potável da Indústria. As bombas são comandadas entre o nível de 96% a 99%. A bomba B31 responde no intervalo de 97% a 98%, ou seja, 1% de variação do nível da cisterna. A altura dessa cisterna é de 270cm, o que significa que a B31 trabalha com uma variação de 2,7cm.

O outro ponto de captação, Santa Luzia, também utiliza um fluxograma muito parecido, a principal diferença de B3 e B4, é que apenas uma trabalha, sendo a outra reserva. Seu SETPOINT é de 97%, com passo de 0% e GAP de 1,5%, sendo ligada quando a Cisterna Potável da Industria atinge seu nível menor que 96% e, desligada, quando nível é superior a 98,5%.

Esse funcionamento escalonado foi programado conforme valores apresentados na Figura 27, onde, observa-se os limites de atuação das ponteiras dos painéis R1 a R3, com funcionamento a contator.

Figura 27 - Limites de ação R1 a R3



Fonte: Elaboração própria (2022).

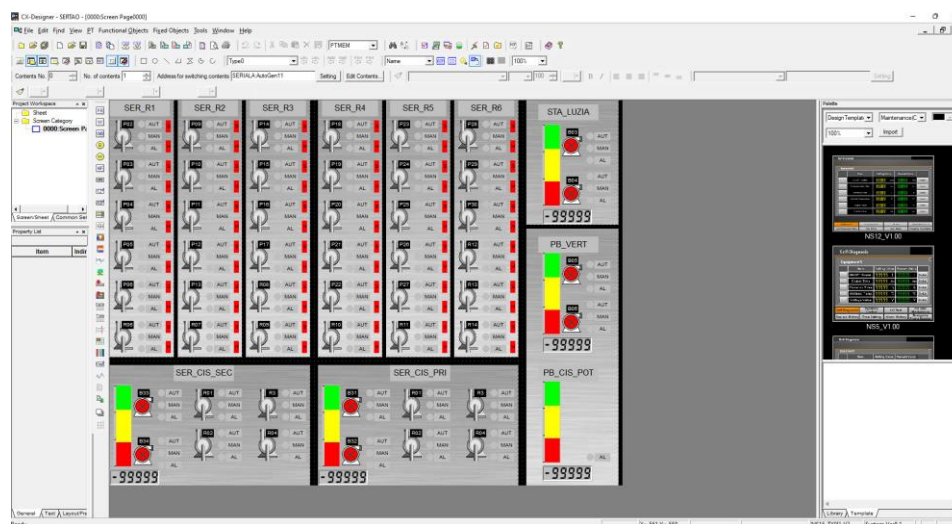
Os painéis R4 a R6, dispõem de inversores de frequência, os quais controlam a velocidade do motor e, por consequência, a quantidade de água bombeada. Essas bombas, a uma frequência de 60Hz, extraem cerca de 1,8m³/h. Com a frequência abaixo de 40Hz, não conseguem puxar a água, sendo um ponto de operação proibido. Dessa forma fixou-se a frequência mínima em 45Hz, sendo a

referência de velocidade por entrada analógica a qual é conectada a uma saída analógica do CLP que, por sua vez, controla essa saída através de uma função PID, na qual o *set point* é de 90%.

3.2.3 Interface Homem Máquina (IHM)

Para facilitar a visualização de todo o sistema a partir do Sertão, instalou-se uma Interface Homem Máquina no painel da Cisterna Principal do Sertão a qual essa interface, de modo gráfico, exibe a situação de toda a planta de captação. A programação dessa IHM utilizou-se CX Designer, software da Omron de programação desse tipo de equipamento. Na Figura 28 se observa uma foto dela.

Figura 28 - CX Designer



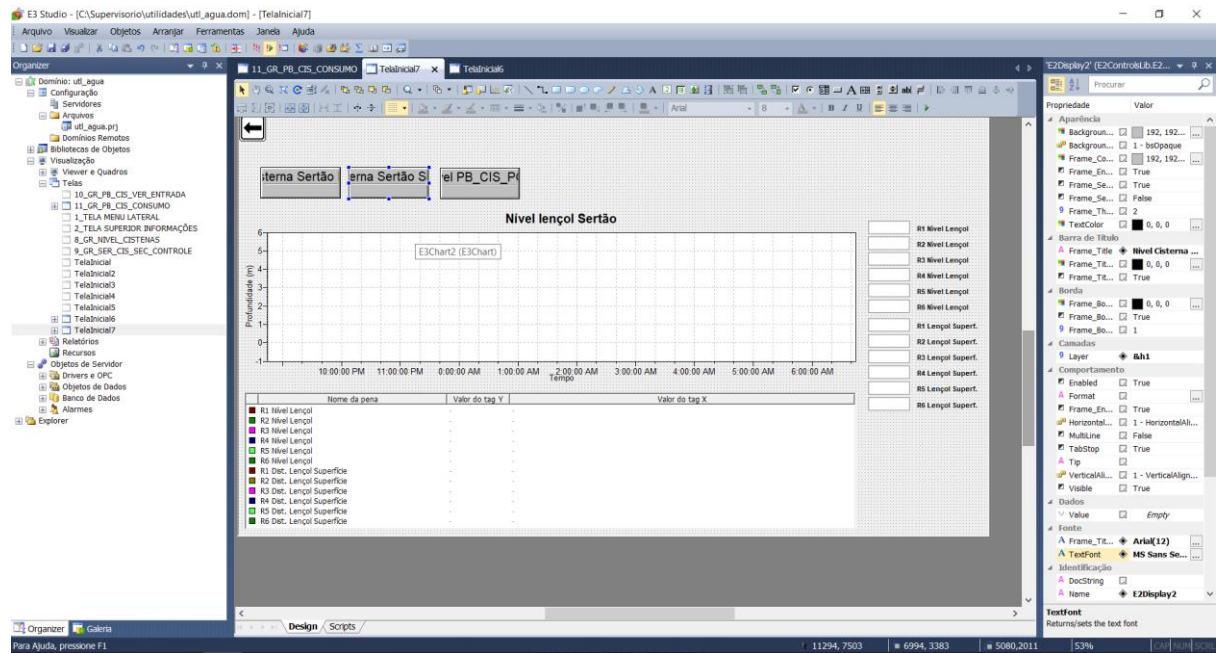
Fonte: CX Designer (2022).

3.2.4 Software de supervisão

Um *software* de supervisão foi criado para visualização das principais variáveis e estados do sistema. Foi utilizado o E3 Studio da Elipse, plataforma de desenvolvimento de supervisórios voltado à automação. Com ele, configuram-se as comunicações, quais variáveis são lidas ou escritas nas CLPs, utilizando a rede.

Configura-se os dados de leitura e associa-se esses dados a figuras. Na Figura 29 - E3 Studio da Elipse tem-se a IDE de programação do E3 Studio da Elipse.

Figura 29 - E3 Studio da Elipse

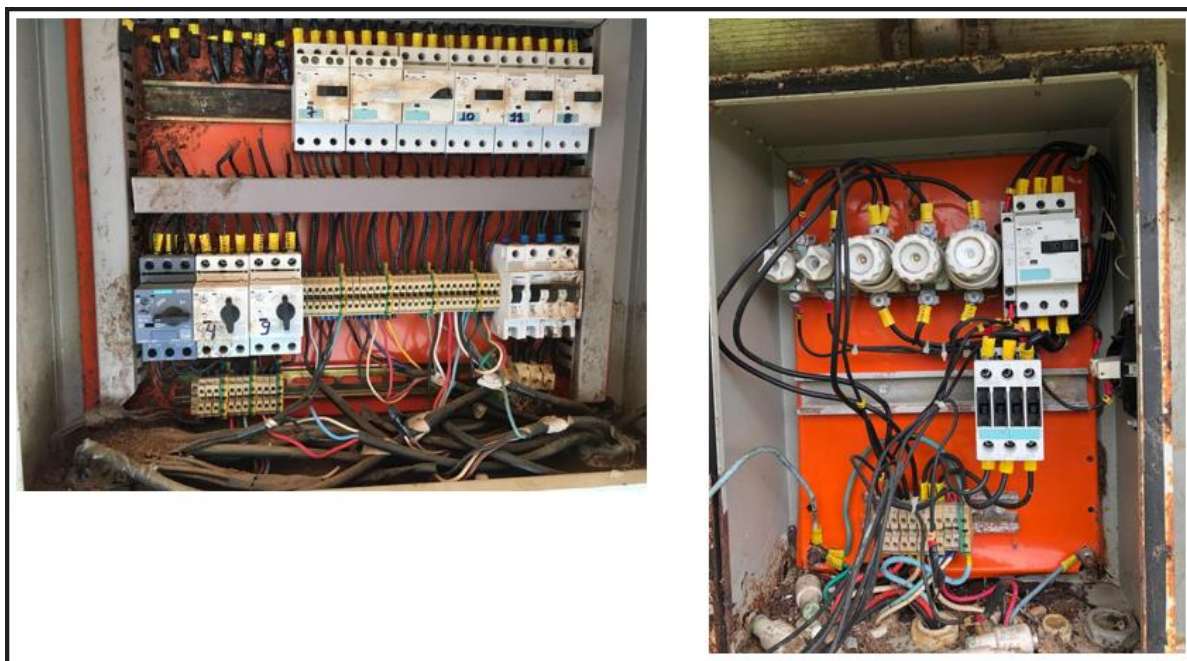


Fonte: E3 Studio (2022).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos neste trabalho. Foram projetados e instalados onze painéis novos, substituindo os antigos e degradados painéis existentes. Na Figura 30 tem-se uma foto de um dos painéis antigos e a Figura 31, observa-se um exemplo de um dos onze painéis novos.

Figura 30 - Pannel antigo



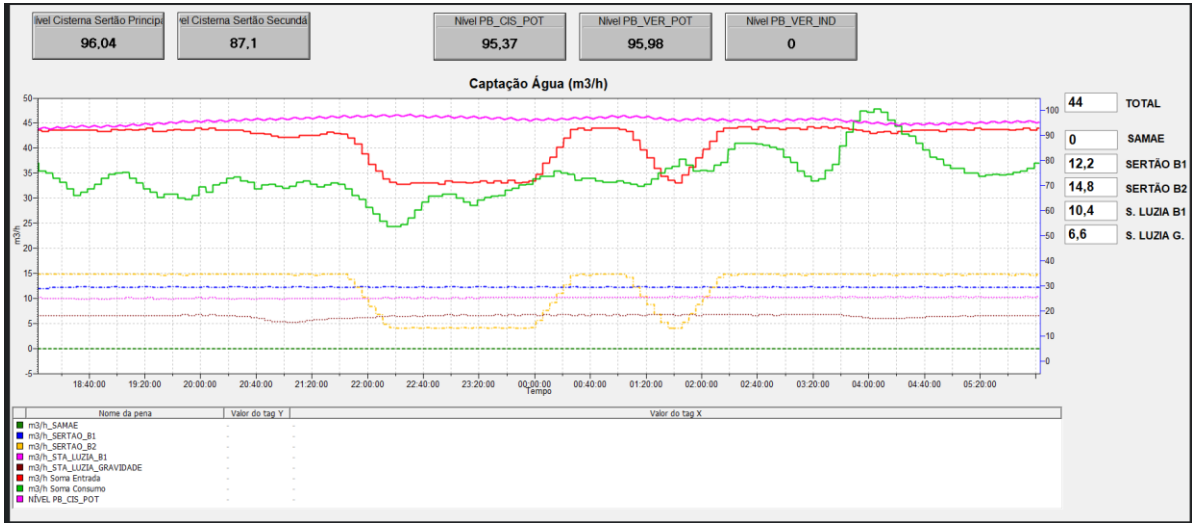
Fonte: Elaboração própria (2022).

Figura 31 - Painel novo

Fonte: Elaboração própria (2022).

Cada painel possui uma CLP, onde foi escrito um programa para cada CLP, sendo cada um deles responsável por uma parte da automação, formando um sistema de controle descentralizado. Como essa captação de água é distribuída, usou-se uma integração utilizando a rede ethernet, redes locais sendo conectadas por redes metropolitanas. Na figura 32 tem-se as leituras de níveis e vazão de entrada da Cisterna Potável da Industria. Nela pode-se observar o nível se mantendo dentro dos limites configurados, de 96 a 97%, para isso, o sistema liga e desliga a B2 do sertão, como mostra o gráfico.

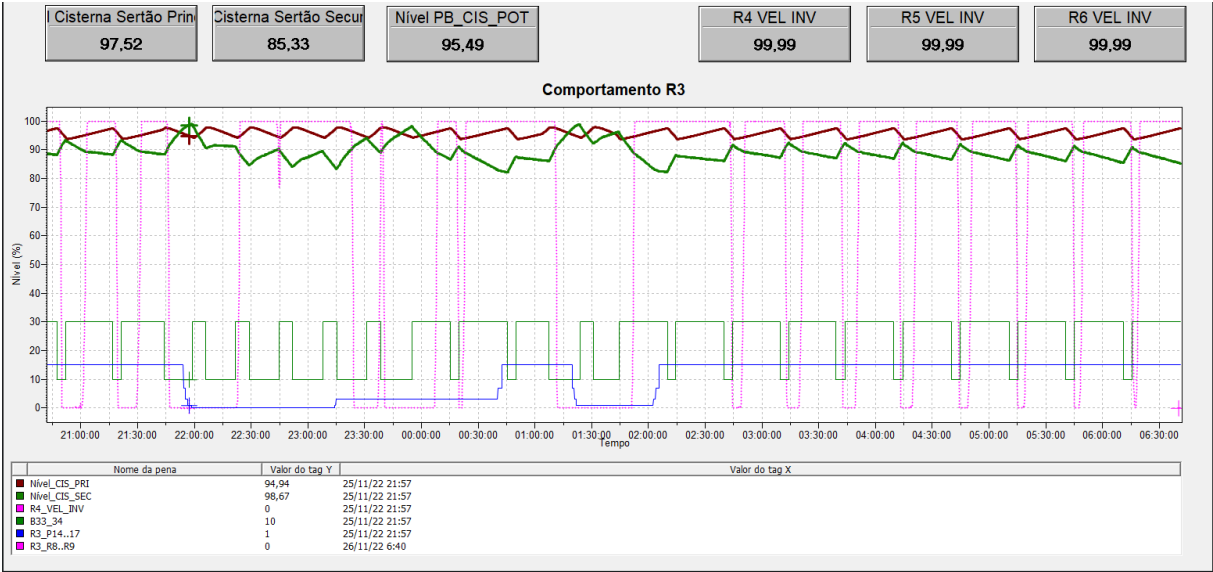
Figura 32 - Nível Cisterna Industria



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na Figura 33, têm-se o comportamento do nível da Cisterna Secundária do Sertão, onde visualiza-se o nível sendo controlado de 80% a 99%, sendo o resultado do controle da velocidade dos inversores dos painéis R4 a R6, e a cascata de R3 e R2.

Figura 33 - Nível Secundária Sertão



Fonte: Elaboração própria (2022).

Uma IHM no painel da Cisterna Principal do Sertão foi instalada, permitindo a visualização de todo sistema a partir deste ponto. Na Figura 34 observa-se a imagem dessa IHM.

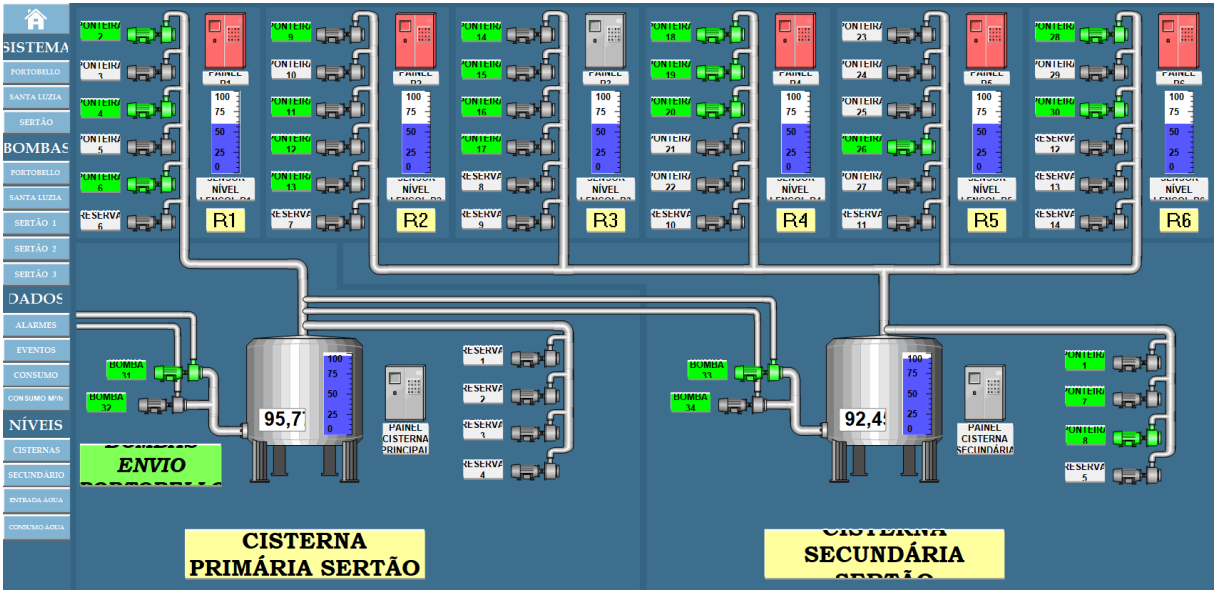
Figura 34 - IHM



Fonte: Elaboração própria (2022).

Um software de supervisão foi criado usando a plataforma Elipse. Na Figura 35 mostra uma das telas criadas no *software*, o qual comunica com a CLP e lê o bloco de memória definido no projeto.

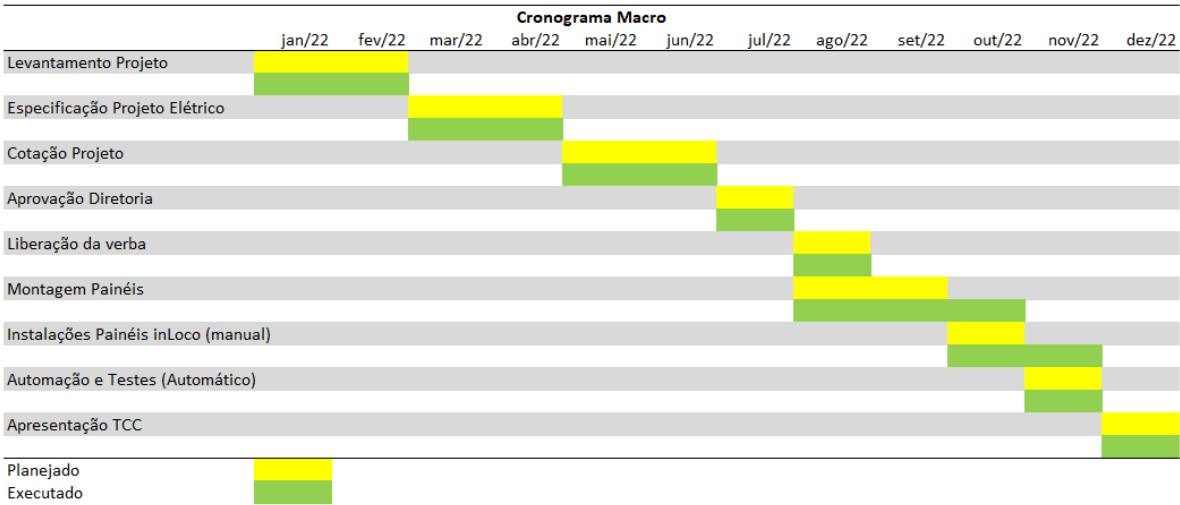
Figura 35 - Tela Supervisão da Captação



Fonte: Elaboração própria (2022).

A Figura 35 pode ser melhor visualizada no apêndice C. Na Tabela 12 tem-se o cronograma macro de todo o projeto. Mais de vinte pessoas trabalharam diretamente nele, sendo sua instalação executada com equipes paralelas, trabalhado para concluir o projeto no prazo especificado.

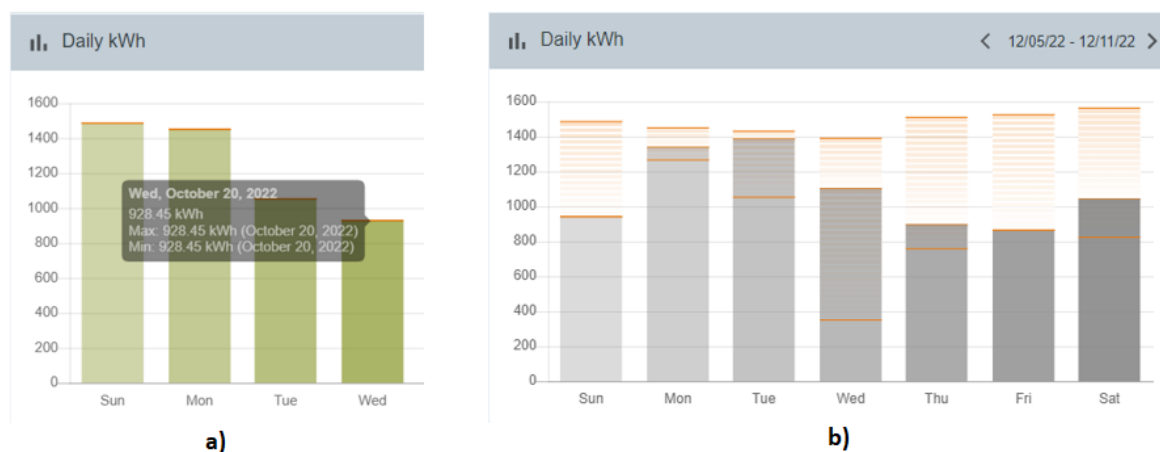
Tabela 12 - Cronograma Projeto



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na Figura 36 a), nas duas primeiras barras têm-se o consumo de energia do Sertão, antes dos sistema de controle entrar em funcionamento. Verifica-se um consumo de aproximadamente de 1.400 kw/dia. Como não existia nenhum tipo de controle, não se desligava qualquer bomba, sendo este consumo fixo. Após habilitar o sistema de controle do sistema, duas últimas colunas do Figura 36 a), verifica-se uma economia de energia maior que 35%.

Figura 36 – Consumo de energia



Fonte: Elaboração própria (2022).

Na Figura 36 b), têm-se uma semana de funcionamento do sistema, período curto para uma avaliação precisa de economia, no entanto, analisando o gráfico, têm-se no mínimo 20% de economia, concluindo-se que no mínimo 20% da água captada e transportada era desperdiçada na forma de transbordo das cisternas. Estes 20%, refletem em uma economia de aproximadamente R\$ 72.000,00 por ano na conta de energia, sendo o maior ganho, a preservação do lençol freático.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratar de um projeto implementado industrialmente, todas as etapas de instalação, testes de aceitação em campo, testes de comunicação e de integração do sistema, *start-up* e o acompanhamento do sistema foram realizados. Conforme verificado nas Figuras 32 e 33, o sistema de controle consegue manter os níveis das cisternas, atendendo adequadamente todos os requisitos. Teve-se uma economia de 20% de energia após implantação, levando a concluir que 20% da água captada antes do sistema de controle era desperdiçada por transbordos nas cisternas. Esta economia reflete não apenas uma diminuição na conta de energia, mas principalmente, a preservação do lençol freático.

O sistema foi colocado em funcionamento no prazo estipulado e respeitando a verba do projeto. O *software* de supervisão mostra de forma fácil e clara todo o comportamento do sistema em tempo real.

Da forma com que foi construído, ajustes na programação ou controle são de fácil execução. Também a ampliação para outros controles, como exemplo a água industrial, podem ser facilmente ampliados.

Este trabalho integrou conhecimentos de instalações elétricas industriais, projeto elétrico e automação industrial. Foi dado ênfase nesse último tópico, onde teve-se a oportunidade de especificar, configurar, programar, integrar e testar equipamentos como inversores de frequência, soft-starters, sensores, CLPs e sistema supervisório, todos operando sobre uma rede de comunicação distintas geograficamente no parque industrial da empresa e nas áreas de captação.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Algumas sugestões para trabalhos futuros são propostas abaixo:

- a) técnicas de controle mais sofisticadas podem ser implementada;
- b) estudo de viabilidade de controle das bombas levando em consideração o horário de pico de consumo, devido a tarifa de energia ser muito maior neste período;

- c) Estudo viabilidade energética de troca das soft-starts por inversor de frequência;
- d) Estudo viabilidade energética de troca das partidas diretas das ponteiros de captação d'água por inversores nos painéis R1, R2 e R3;
- e) Supervisão e controle água industrial;
- f) Supervisão gás;
- g) Supervisão geração ar comprimido.

REFERÊNCIAS

- ALFA Equipamentos. Disponível em: <https://alfaequipamentos.ind.br/sonda-transmissor-sensor-de-nivel-hidrostatica/>. Acesso em: novembro 2022.
- ALMEIDA, F. **Os desafios da sustentabilidade**. [s.l.] Elsevier, 2007.
- FRANCHI, C.M., **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2008.
- FRANCHI, C. M., **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações**, -- 2. ed. -- São Paulo: Érica, 2009
- GOLIN, J. **Controladores lógicos programáveis - Notas de aula e apresentações da disciplina**. Florianópolis, 2021.
- GRASSI, M. T. **As águas do Planeta Terra. v. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola.**, n. Edição Especial, 2001.
- LAMB, F. **Automação industrial na prática**. Porto Alegre: AMGH, 2015.
- LOPEZ, R. A. **Sistemas de Redes para controle e Automação**. Editora Express. 2000
- MACÊDO, R. J. A.; FARINES, J. **Projeto de Sistemas Distribuídos e de Tempo Real para Automação**. Salvador: EDUFBA, 2018
- MAMEDE FILHO, J. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTX, 2017.
- PAREDE, I.M.; **Eletrônica: automação industrial**. São Paulo: Fundação Padre Anchieta, 2011 (Coleção Técnica Interativa. Série Eletrônica, v. 6).
- PESSÔA, M. S. DE P.; SPINOLA, M. DE M. **Introdução à Automação para Cursos de Engenharia e Gestão**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- PULIDO, M. Á., **Controladores Lógicos, Barcelona**. Marcombo, 2007.
- Revista RTI - **REDES, TELECOM E INSTALAÇÕES**. São Paulo:ed. aranda, N. 95, ano IX, Abril de 2008.
- Revista RTI - **REDES, TELECOM E INSTALAÇÕES**. São Paulo:ed. aranda, N. 90, ano VIII, Novembro de 2007.
- SIEMENS. Contatores. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:a3a5df9b-2fac-431b-8270-e8126f83feccd/arquivo-1.pdf>. Acesso em: novembro 2022.

SIEMENS. Disjuntores. Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:a3a5df9b-2fac-431b-8270-e8126f83feccd/arquivo-1.pdf> Acesso em: novembro 2022.

WEG. Soft-Starter SSW07. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Soft-Starters/Usogeral/Soft-Starter-SSW07/Soft-Starter-SSW07/p/MKT_WDC_BRAZIL_PRODUCT_SOFT_STARTERS_SSW07. Acesso em novembro 2022.

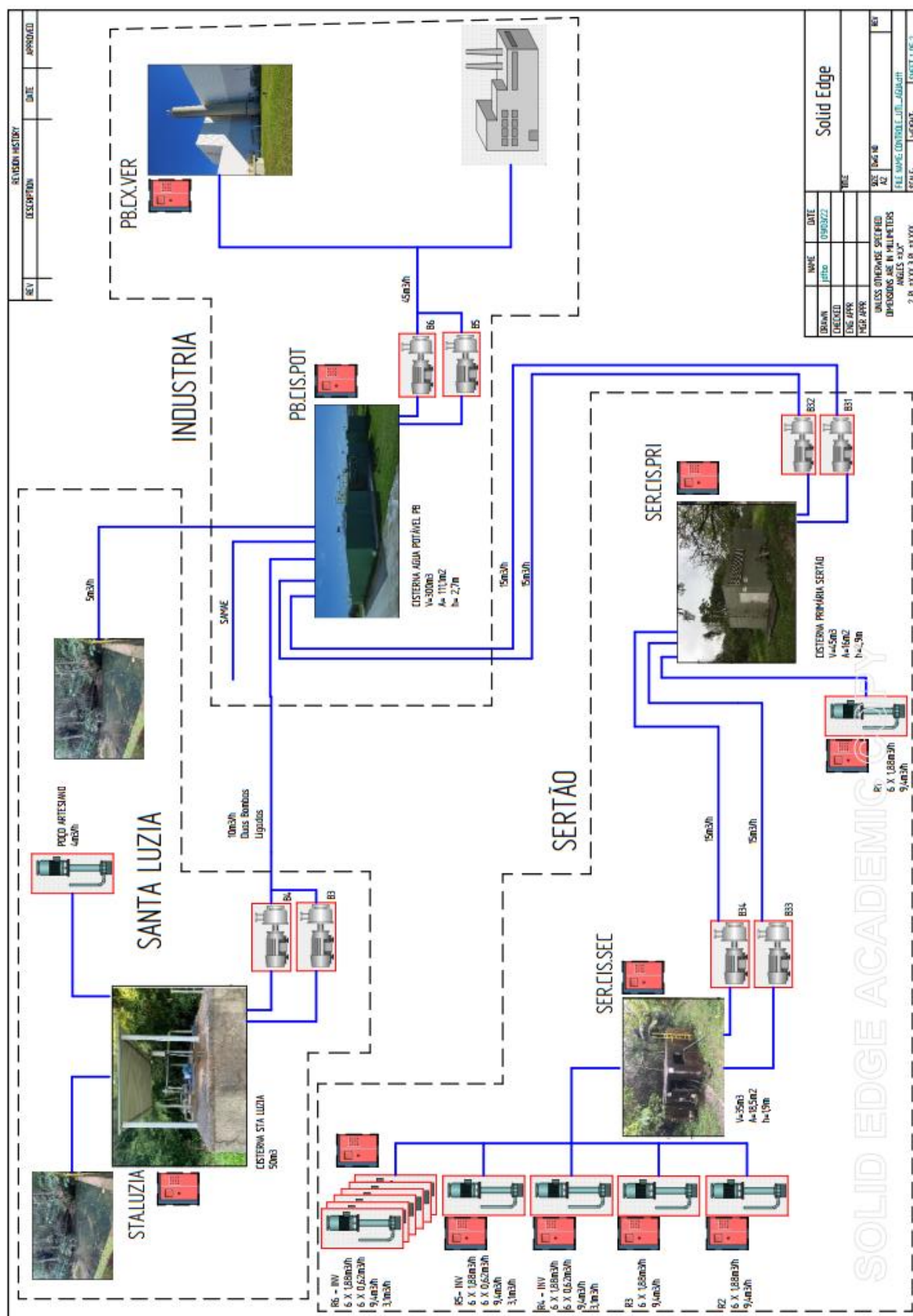
WEG. Inversores. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Drives/Inversores-de-Frequ%C3%Aancia/Micro-e-Mini-Drives/Inversor-de-Frequ%C3%Aancia-CFW300/Inversor-de-Frequ%C3%Aancia-CFW300/p/MKT_WDC_BRAZIL_INVERTER_CFW300. Acesso em: novembro 2022.

YULIZA, E . **Characterization of a water level measurement system developed using a commercial submersible pressure transducer**. In: IEEE. Instrumentation, Control and Automation (ICA), 2016 International Conference on. [S.l.], 2016. p. 99–102

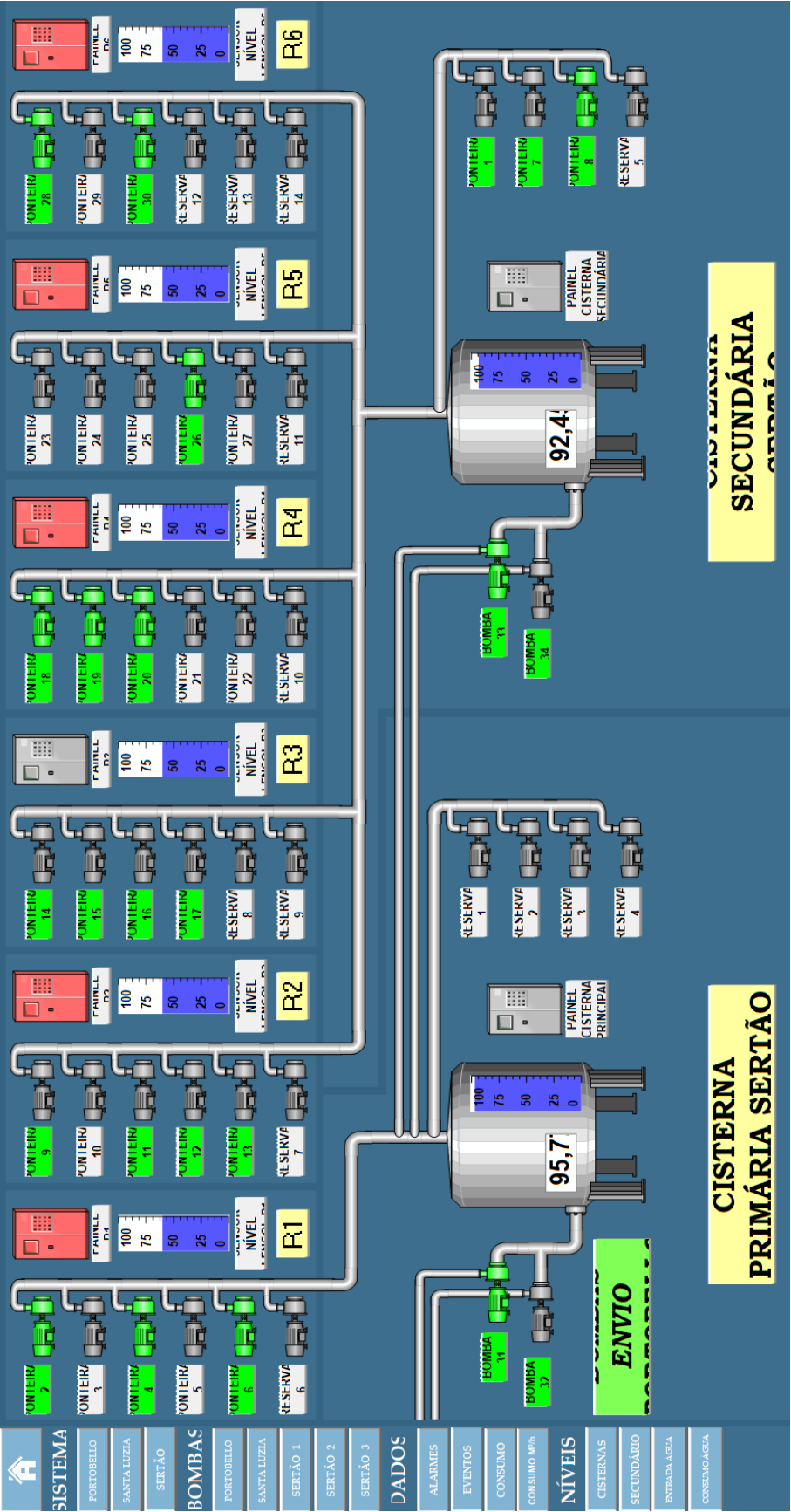
ZYLBERSZTAJN, D.; LINS, C. (EDS.). **Sustentabilidade e geração de valor: a transição para o século XXI**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Elsevier, Campus, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Visão geral do sistema de captação de água



APÊNDIXO B – Tela supervisão captação d’água



APÊANEXO C – Fluxograma de decisão

