



**Campus: Salvador**

**CAUÃ VICTOR GERFONE BOMFIM**

**YURI CARVALHO DE MATOS**

**ESTUDO TEÓRICO PARA A AUTOMAÇÃO, UTILIZANDO UM CLP DE  
PEQUENO PORTE, NO SISTEMA DE CAPTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA  
EM IPUAÇU - BAHIA.**

**Salvador, BA**

**2024**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS  
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

B695e Bomfim, Cauã Victor Gerfone

Estudo teórico para a automação, utilizando um clip de pequeno porte, no sistema de capacitação e distribuição de água em Ipuacu - Bahia / Cauã Victor Gerfone Bomfim; Yuri Carvalho de Matos; orientadora Elenise Barreto Barbosa Anunciação -- Salvador, 2024.

83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico de Ensino Médio em Eletrotécnica) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Automação elétrica. 2. CLP. 3. Diagrama FBL. 4. Abastecimento de água. I. Matos, Yuri Carvalho de, colab. II. Anunciação, Elenise Barreto Barbosa, orient. III. TÍTULO.

CDU 681.5

**CAUÃ VICTOR GERFONE BOMFIM**

**YURI CARVALHO DE MATOS**

**ESTUDO TEÓRICO PARA A AUTOMAÇÃO, UTILIZANDO UM CLP DE  
PEQUENO PORTE, NO SISTEMA DE CAPTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA  
EM IPUAÇU - BAHIA.**

Projeto apresentado como Trabalho de conclusão de Curso Técnico de Ensino Médio em Eletrotécnica, na forma integrada, apresentado à Coordenação de Eletrotécnica, do Campus Salvador, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do certificado de conclusão do curso.

**Orientadora:**

Profª Dra. Elenise Barreto Barbosa  
Anunciação

**Salvador, BA**

**2024**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA**  
**DEPARTAMENTO DE ELETROTÉCNICA - Campus Salvador**

**CAUÃ VICTOR GERFONE BOMFIM**

**YURI CARVALHO DE MATOS**

**ESTUDO TEÓRICO PARA A AUTOMAÇÃO, UTILIZANDO UM CLP DE  
PEQUENO PORTE, NO SISTEMA DE CAPTAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA  
EM IPUAÇU - BAHIA.**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Profissionalizante Técnico de Ensino Médio em Eletrotécnica, na forma integrada, apresentado a Coordenação de Eletrotécnica do Campus Salvador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do certificado de conclusão do curso.

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Elenise Barreto Barbosa Anunciação - Orientadora - IFBA - Matrícula SIAPE 1301660

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Maria das Neves Queiroz de Macedo - IFBA - Matrícula SIAPE 1820812

Prof. Dr. Renato da Anunciação Filho - IFBA - Matrícula SIAPE 268611

Salvador, \_\_\_\_\_

## AGRADECIMENTOS

### **Por Cauã Gerfone**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por sua infinita bondade, por iluminar meu caminho e me conceder saúde, força e sabedoria ao longo desta jornada. Sem Ele, nada disso seria possível.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, oferecendo amor incondicional, alegria, apoio e inspiração, minha eterna gratidão. Vocês são minha base e meu porto seguro, e este trabalho é, em parte, fruto da força que encontro em cada um de vocês.

Aos meus colegas e amigos, que compartilharam comigo momentos desafiadores, conversas difíceis, mas enriquecedoras, e risadas que aliviaram a caminhada, agradeço pelo companheirismo e incentivo. Vocês tornaram essa experiência muito mais leve e marcante.

Agradeço ao meu colega e amigo Yuri, minha dupla de TCC, pela parceria, dedicação e companheirismo. Trabalhar ao seu lado foi enriquecedor, marcado por troca de ideias e aprendizados. Sua contribuição foi essencial para a realização deste trabalho e para tornar essa jornada mais leve.

Agradeço aos professores pelo conhecimento e dedicação ao longo da minha formação, especialmente à professora Valéria Costa, cuja orientação e incentivo foram fundamentais nos momentos desafiadores. Sua dedicação e exemplo marcaram minha trajetória acadêmica e serão uma inspiração para a vida.

Também agradeço à professora Elenise, minha orientadora, cuja incansável dedicação à educação, paciência e clareza foram pilares fundamentais para a realização deste trabalho. Sua orientação generosa e compromisso com o ensino contribuíram não apenas para o sucesso deste projeto, mas também para meu amadurecimento pessoal e profissional.

À banca examinadora da defesa do meu TCC, composta pelos professores Renato Anunciação e Maria das Neves, expresse minha gratidão pela disponibilidade, pelos comentários construtivos e pelas valiosas contribuições que enriqueceram ainda mais este trabalho.

Agradeço ao departamento de Eletrotécnica pela base sólida e pelo ambiente que favoreceu meu crescimento acadêmico e pessoal.

A todos vocês, minha mais sincera gratidão. Este trabalho carrega um pouco de cada contribuição, gesto de apoio e palavra de incentivo que recebi ao longo desta jornada.

## **Por Yuri Carvalho**

Começo meus agradecimentos pela minha família que manteve-me, através de muito sacrifício, sangue, suor e lágrimas, no caminho dos estudos e, sobretudo, no IFBA. Agradeço muito à minha saudosa “mamãe” que me tornou a pessoa que me orgulho de ser hoje. Agradeço especialmente também ao meu irmão que sempre foi o meu pilar nas horas mais difíceis.

Em segundo lugar, agradeço aos meus amigos que me apoiaram durante toda essa luta. Sem eles, este trabalho jamais teria se tornado realidade, já que além de gerar grandes momentos/memórias, eles me ensinam demais.

Faço um destaque especial para o meu amigo Cauã que aceitou desenvolver esse trabalho ao meu lado. Ele é um menino incrível e que mora no meu coração. Penso que não havia escolha melhor para partilhar este projeto de conclusão de curso. Tê-lo como dupla foi sensacional, adorei trabalhar com você, Cacau, e acho que isso fortaleceu nosso carinho para algo além-IFBA.

Sou muito grato ao IFBA pelas oportunidades que me foram dadas, principalmente de encontrar professores incríveis que me moldaram enquanto ser humano. Faço um destaque para Ana Carla Lima Portela que foi um furacão de conhecimento na mente do jovem Yuri do 2º ano. Graças a ela que eu pude desenvolver um senso crítico, pude me entender enquanto jovem negro em uma sociedade racista e opressora e pude amadurecer de verdade. Obrigado por tudo! Agradeço também ao Departamento de Eletrotécnica e todos os seus professores que me ensinaram na prática o conceito de excelência, organização, gentileza e dedicação.

Da mesma forma, sou extremamente grato à minha orientadora Elenise. Que mulher indescritível. Sempre um amor de pessoa, muito meiga e paciente. É uma dádiva poder ser cobrado a entregar o melhor que posso por ela. Muito obrigado por todos os doces momentos, as doces risadas e os calorosos abraços, minha pró.

Agradeço ao Renato da Anunciação e à professora Maria das Neves por participarem da banca avaliadora deste trabalho. Sou grato pelo tempo disponibilizado e, especialmente, pelos comentários e contribuições que agregaram demais à versão final deste trabalho.

Sou eternamente grato por todas as contribuições dos supracitados em minha vida, sou a junção de todos aqueles que passaram por mim e como passaram.

## **Resumo**

Este trabalho é um estudo teórico na área de automação, com aplicação de um Controlador Lógico Programável (CLP) em um sistema de captação, tratamento e distribuição de água em Ipuçu-Bahia. A água é fator primordial para a sobrevivência humana, nas zonas mais afastadas das capitais o processo de captação, purificação e distribuição, garante às comunidades as condições de vida e saneamento. Os componentes elétricos foram utilizados para atender a demanda do comando e em obediência às Normas Técnicas vigentes. Além disso, foram estabelecidos critérios de segurança para o sistema. O Controlador Lógico Programável (CLP) permitiu a realização de comando elétrico e a implementação de lógicas para o funcionamento operacional e ainda possibilita lógicas de segurança na operação do sistema elétrico elaborado. A metodologia pensada foi a análise qualitativa, pesquisa bibliográfica e busca ativa na área do conhecimento do tema. Foram realizados testes e avaliação de sinais com atividade prática de programação no CLP, com relação a automação elétrica. A validação do diagrama solução foi feita por meio de simulação de sinais, utilizando programa específico. Como resultado, foi gerado uma solução de automação que atendeu a demanda do problema estudado e assim foi comprovado que existe uma operação automatizada, segura e eficiente para atender ao sistema proposto.

**Palavras-chave:** Automação elétrica; CLP; Diagrama FBL; Abastecimento de água.

## **Abstract**

This work is a theoretical study in the area of automation, with the application of a Programmable Logic Controller (PLC) in a water collection, treatment and distribution system in Ipuacu-Bahia. Water is a fundamental factor for human survival, in areas furthest from capitals the process of collection, purification and distribution guarantees living conditions and sanitation for communities. The electrical components were used to meet command demands and in compliance with current Technical Standards. Furthermore, security criteria were established for the system. The Programmable Logic Controller (PLC) allowed the execution of electrical command and the implementation of logic for operational operation and also enables safety logic in the operation of the elaborate electrical system. The methodology considered was qualitative analysis, bibliographical research and active search in the area of knowledge on the topic. Tests and evaluation of signals were carried out with practical programming activities on the PLC, in relation to electrical automation. Validation of the solution diagram was done through signal simulation, using a specific program. As a result, an automation solution was generated that met the demands of the problem studied and thus it was proven that there is an automated, safe and efficient operation to meet the proposed system.

**Key-words:** Electrical automation; CLP; FBL diagram; Water supply.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação de bloco no Display do LOGO!.....	22
Figura 2 - Representação das Funções Gerais (GF).....	23
Figura 3 - Representação das Funções Especiais (SF).....	24
Figura 4 - Mais representações das Funções Especiais (SF).....	25
Figura 5 - Mapa da organização geográfica dos Distritos de Feira de Santana.....	31
Figura 6 - Etapas do tratamento de água.....	34
Figura 7 - Efeito fotoelétrico.....	35
Figura 8 - Representação de cristal de silício dopado com boro e fósforo.....	37
Figura 9 - Foto de átomos de silício em uma ligação covalente que obedece a regra do octeto. Com lacuna e elétron livre oriundo da energia térmica.....	37
Figura 10 - Átomo pentavalente central ligado a quatro átomos de semicondutor.....	38
Figura 11 - Representação dos portadores de carga em um semicondutor tipo n.....	38
Figura 12 - Átomo trivalente central ligado a quatro átomos de semicondutor.....	39
Figura 13 - Representação dos portadores de carga em um semicondutor tipo p.....	39
Figura 14 - Modelo de células fotovoltaicas.....	40
Figura 15 - Exemplo de um sistema de bombeamento solar.....	43
Figura 16 - Apresentação do diagrama elétrico e Ladder.....	46
Figura 17 - Bloco lógico que substitui a função ladder.....	47
Figura 18 - Representação IL de uma mesma lógica em ladder.....	48
Figura 19 - Representação em texto estruturado de uma mesma lógica em ladder.....	49
Figura 20 - Representação em GRAFECT de uma mesma lógica em ladder.....	50
Figura 21 - Sistema de captação e distribuição de água potável.....	52
Figura 22 - Diagrama Funcional do Processo.....	55
Figura 23 - Diagrama solução em linguagem Função Bloco Lógico.....	60
Figura 24 - Diagrama ampliado para análise da saída Q1.....	62
Figura 25 - Diagrama ampliado para análise da saída Q2.....	63
Figura 26 - Diagrama ampliado para análise das saídas Q3 e Q7.....	64
Figura 27 - Diagrama ampliado para análise da saída Q9.....	66
Figura 28 - Diagrama ampliado para análise da saída Q4.....	68
Figura 29 - Diagrama ampliado para análise das saídas Q5 e Q8.....	69
Figura 30 - Diagrama ampliado para análise da saída Q10.....	71
Figura 31 - Diagrama ampliado para análise da saída Q6.....	73
Figura 32 - Diagrama ampliado para análise da saída Q11.....	74
Figura 33 - Mapa da região.....	75
Figura 34- Determinação do índice solarimétrico local de Ipuacu - Bahia.....	76
Figura 35 - Exemplo do inversor de frequência utilizado.....	77
Figura 36 - Esquema de ligação do sistema fotovoltaico de bombeamento solar para o CFW500 mecânica E.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características do CLP - LOGO! 8.....	20
Tabela 2 - Principais ferramentas do AutoCad.....	27
Tabela 3 - Bombas do Sistema Proposto.....	53
Tabela 4 - Tanques do Sistema Proposto.....	53
Tabela 5 - Identificação das saídas do CLP na programação.....	56
Tabela 6 - Identificação das entradas do CLP na programação.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CERB	Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia
CLP	Controlador Lógico Programável
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
DDP	Diferença de Potencial Elétrico
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
ETA	Estação de Tratamento da Água
FBD	Diagrama de Blocos Funcionais
FBL	Função Bloco Lógico
GF	Funções Gerais
GRAFECT	Sequential Functional Charts
IEC	Comissão Internacional de Eletrotécnica
IL	Lista de Instruções
LD	Linguagem Ladder
NA	Normalmente Aberto
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

NF	Normalmente Fechado
ONU	Organização Nacional da Saúde
PH	Potencial Hidrogeniônico
PPB	Parte por Bilhão
PPM	Parte por Milhão
SF	Funções Especiais
SFC	Gráficos de Função Sequencial
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ST	Texto Estruturado

## LISTA DE SÍMBOLOS

$E_{diário}$	Consumo Diário
$i_s$	Índice Solarimétrico
$\eta$	Rendimento
$N^{\circ}_{painéis}$	Número de Painéis Solares
$P_{painel}$	Potência dos Painéis Solares
$P_e$	Potência Elétrica
$P_m$	Potência Mecânica
$t_{consumo}$	Tempo de Consumo

## SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	14
1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Objetivo Geral.....	18
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2 METODOLOGIA.....	19
2.1 O Controlador Lógico Programável (CLP) escolhido.....	19
2.1.1 Descrição do CLP.....	21
2.1.2 Programação Em Função Bloco Lógico (FBL).....	22
2.2 Projeto Elétrico.....	26
2.2.1 Norma ABNT-NBR-5410.....	26
2.2.2 Programa de software para elaboração do Projeto Elétrico do sistema.....	27
2.2.3 Projeto Fotovoltaico.....	28
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
3.1 A importância da qualidade da água.....	30
3.2 O distrito de Ipuacu e o abastecimento de água.....	31
3.2.1 Sistema de distribuição de água.....	32
3.3 Sistema de tratamento da água.....	32
3.4 O Efeito Fotoelétrico.....	34
3.4.1 Semicondutores.....	36
3.4.2 Portadores de carga no Semicondutor Dopado.....	37
3.5 Painéis Solares.....	40
3.5.1 Silício Monocristalino.....	40
3.5.2 Silício Policristalino.....	41
3.5.3 Silício Amorfo.....	42
3.6 Bombeamento Solar.....	42
3.6.1 Motores Elétricos.....	43
3.7 Controlador Lógico Programável.....	45
3.7.1 Linguagens de Programação.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
4.1 Sistema Proposto.....	51
4.2 Características das bombas e tanques do Sistema Proposto.....	52
4.3 Diagrama Funcional Proposto para automação do Processo.....	54
4.4 Diagrama Solução Proposto para automação do Processo.....	55
4.4.1 Análise para a saída Q1 do Diagrama Solução.....	60
4.4.2 Análise para a saída Q2 do Diagrama Solução.....	62
4.4.3 Análise para a saída Q3 do Diagrama Solução.....	63
4.4.4 Análise para a saída Q7 do Diagrama Solução.....	65

4.4.5 Análise para a saída Q9 do Diagrama Solução.....	65
4.4.6 Análise para a saída Q4 do Diagrama Solução.....	66
4.4.7 Análise para a saída Q5 do Diagrama Solução.....	68
4.4.8 Análise para a saída Q8 do Diagrama Solução.....	70
4.4.9 Análise para a saída Q10 do Diagrama Solução.....	70
4.4.10 Análise para a saída Q6 do Diagrama Solução.....	71
4.4.11 Análise para a saída Q11 do Diagrama Solução.....	73
4.5 Bombeamento Solar na Captação.....	74
4.5.1 Dimensionamento do Painel Fotovoltaico.....	75
5 CONCLUSÕES.....	78
6 REFERÊNCIAS.....	79

## 1 INTRODUÇÃO

A água é fonte de vida e saúde, portanto é indispensável para a sobrevivência humana.

De acordo com o relatório da ONU, dados obtidos em 2023 apontam que 2 bilhões de pessoas não possuem acesso a serviços de água potável gerenciados com segurança, o que representa 26% da população mundial. Enquanto isso, 3,6 bilhões de pessoas (46% da população) não têm acesso a saneamento.

Segundo a Organização das Nações Unidas, cada pessoa necessita de 3,3 mil litros de água por mês (cerca de 110 litros de água por dia para atender as necessidades de consumo e higiene), no entanto, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a mais de 200 litros/dia.

A Companhia de Engenharia Hídrica e de Saneamento da Bahia (CERB) estabelece no seu plano de ações as seguintes diretrizes: 1. Abastecimento de água compreende a perfuração e operação de poços; a construção de cisternas para captação de água de chuva; a construção e operação de barragens; a implantação, ampliação e melhorias de sistemas de abastecimento de água. 2. Esgotamento sanitário compreende a implantação e a ampliação e melhorias de sistemas de esgotamento sanitário e tratamento de efluentes associados à preservação de mananciais utilizados para abastecimento e a qualificação da saúde pública. 3. Saneamento integrado – compreende a implantação de sistemas de saneamento integrado: ações de abastecimento de água; esgotamento sanitário; manejo de águas pluviais; coleta, tratamento e disposição de resíduos sólidos, aliados as intervenções de urbanização e de melhorias habitacionais. 4. Meio ambiente, projetos socioeconômicos e de geração de trabalho e renda – engloba ações voltadas para a construção de cisternas calçadão e barragens subterrâneas, recuperação de matas ciliares, nascentes e áreas de recarga, recuperação de áreas degradadas, preservação e conservação de mananciais de abastecimento, educação ambiental qualificada voltada às práticas sustentáveis nas atividades produtivas bem como aquelas referentes à melhoria das condições de vida e trabalho da população beneficiada. Estas quatro linhas de ação compreendem também a elaboração de estudos e projetos necessários às intervenções e ao seu melhor aproveitamento e gerenciamento, bem como o desenvolvimento institucional dos órgãos e entidades participantes.

O sistema de bombeamento solar no Brasil vem se mostrando uma alternativa promissora de geração de energia em localidades mais afastadas e que não são atendidas pelas concessionárias de energia elétrica. Desta forma, cabe também estudar o dimensionamento de

um sistema de bombeamento solar através de painéis fotovoltaicos, garantindo: economia, sustentabilidade, durabilidade e flexibilidade.

A automação surge da necessidade de ligar os atuadores elétricos, tais como: as bombas elétricas e os componentes do Controle de processo e sistema de proteção. O funcionamento operacional e manutenção do sistema elétrico requer lógicas de programação com prioridade dada pela ordem de precedência estabelecida na programação Função Bloco Lógico do CLP utilizado.

## 1.1 Objetivo Geral

Estudar a aplicação de um CLP, pequeno porte, no processo de automação de um sistema de captação e distribuição de água em Ipuacu - Bahia.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o sistema de captação e armazenamento de água em Ipuacu-Bahia.
- Avaliar o tipo de reservatório utilizado na captação de água e elementos necessários para a distribuição e automação elétrica da rede.
- Elaborar o diagrama funcional para o comando elétrico.
- Estudar o funcionamento de bombas, chaves, sensores e elementos aplicados ao comando elétrico do sistema.
- Estudar o uso de painéis fotovoltaicos para alimentação da bomba.
- Avaliar a viabilidade técnica do uso de CLP's aplicado ao sistema.
- Estudar a aplicação do CLP.
- Programar CLP em função bloco lógico.
- Elaborar diagrama de comando em função bloco lógico.
- Avaliar o tipo de bomba, utilizada no sistema de tratamento de água.

## **2 METODOLOGIA**

A metodologia pensada será a análise qualitativa, pesquisa bibliográfica e busca ativa na área do conhecimento do tema. Contará ainda com atividade prática com relação a automação elétrica, CLP, programação e validação por meio de simulação de sinais, utilizando programa específico.

A parte teórica do projeto elétrico será realizada com estudo das Normas Técnicas. Será utilizado ainda software específico para o desenho do projeto referente ao comando elétrico, a exemplo do Autocad.

Na área de bombeamento solar, será realizado a determinação da demanda e potência requerida pela bomba, a determinação dos módulos fotovoltaicos e o inversor de frequência.

A parte prática na área da automação, a validação da programação será feita com software LOGO - COMFORT, da fabricante Siemens e simulação de sinais nos elementos de entrada. O CLP utilizado será o LOGO! 8 alimentação em 115 - 240 volts, 8 entradas digitais e 4 saídas digitais. Ele também possui um módulo de expansão que permite no máximo 24 entradas digitais e 20 saídas digitais. Suas entradas são identificadas pela letra I de Input, significa entrada de sinal, I maiúsculo e i minúsculo.

No simulador é possível testar a programação e acionar as chaves correspondentes a cada elemento de entrada de sinal. A saída é sinalizada por indicação luminosa e as funções com dependência do tempo são avaliadas no instante de tempo do acionamento, isso permite a percepção da lógica de programação implantada e a ordem de precedência dos contatos no diagrama.

### **2.1 O Controlador Lógico Programável (CLP) escolhido**

Dentre os vários modelos de CLP existentes no mercado comercial, foi feita a opção de trabalhar com o LOGO! 8, pois esse CLP destaca-se pelo seu tamanho compacto e excelente relação custo-benefício. Sendo, sobretudo, equipamentos idealizados para aplicações de pequeno e médio porte em tarefas de intertravamento, temporização, contagem, substituem com vantagens os contatores auxiliares, temporizadores e contatores eletromecânicos, reduzindo o espaço necessário e facilitando significativamente as atividades de manutenção.

O CLP LOGO! 8 atende à aplicação para o sistema de bombeamento e a automação do sistema demandado. Além disso, esse tipo de CLP está disponível nos laboratórios do IFBA, portanto é possível realizar as programações e testes. No LOGO! 8 é possível fazer a programação em Função Bloco Lógico (FBL), a qual é bastante utilizada em malhas de controle por comando lógico. No quadro 01 são apresentadas as principais características do LOGO! 8, nas versões comerciais.

**Tabela 1** - Principais características do CLP - LOGO! 8

<ul style="list-style-type: none"><li>● Tensão de alimentação 12 V CC, 24 V CC ou 115-240 V CA (50/60 Hz);</li><li>● Unidades básicas disponíveis com 8 pontos de entradas digitais, das quais 4 podem ser usadas como analógicas, e 4 saídas digitais (0-10 V CC/12 bits);</li><li>● Expansão de módulos de entradas e saídas digitais (relé ou transistor), analógicas;</li><li>● Saídas digitais a relé (de 3 A, para cargas indutivas e 5 A para cargas resistivas) ou transistor (0.3 A para cargas resistivas);</li><li>● Configuração máxima de até 24 pontos de entradas e 20 pontos de saídas digitais;</li><li>● Relógio de tempo real;</li><li>● Servidor web integrado em todas as unidades;</li><li>● Todas as unidades vêm com interface Ethernet;</li><li>● Display LCD com 6 linhas x 16 caracteres cada, podendo ser retroiluminado em cores;</li><li>● Programação em Função Bloco Lógico (FBL) ou ladder;</li><li>● Capacidade de 400 blocos de memória e mais de 40 funções predefinidas;</li><li>● Controle PID e funções aritméticas;</li><li>● Menus em português e mais 6 idiomas;</li><li>● Cartão de memória.</li></ul>
---

Na parte prática da metodologia do presente trabalho foi elaborado e programado o diagrama solução em Função Bloco Lógico (FBL) para atender a automação do sistema de

bombeamento e purificação da água por injeção de cloro no tanque. Para a validação da solução apresentada foram realizadas duas etapas: Programação direta no próprio CLP, por meio do display e teclado do operador e a utilização do software LOGO - COMFORT - V7 através de um computador, facilitando ainda mais a atividade.

No programa simulador foi feito: 1. O armazenamento dos arquivos gerados, realizou-se ainda a simulação total do funcionamento do programa sem necessidade de um LOGO! 8 conectado em um computador; 2. Monitoramento online dos parâmetros e da lógica do programa; 3. Edição e visualização de mensagens; 4. Comunicação através de porta USB do computador; 5. A programação em FBL.

### 2.1.1 Descrição do CLP

O controlador lógico programável, LOGO! 8, é um compacto Relé Inteligente, que possui no máximo 44 pontos de Entrada/Saídas, podendo ser programado em FBL (Diagramas de Blocos de Função). O LOGO! pode expandir para o máximo de Entradas/Saídas (em inglês, Input/Output) acionando 4 módulos de 4-entradas / 4-saídas.

As entradas de um CLP, também conhecidas como I (Input), são os portais de comunicação entre o controlador e o mundo externo. Através delas, o CLP captura informações de sensores, botões de botoeiras, chaves e outros dispositivos, permitindo-lhe tomar decisões inteligentes, de acordo com a sua programação, visando atingir uma certa precisão no controle do processo.

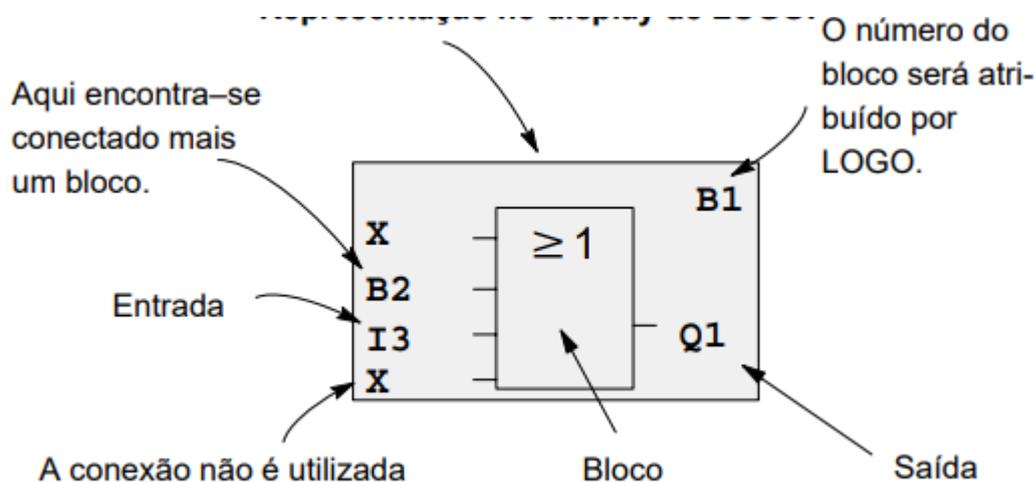
Quando estão em FBL, as entradas são representadas nas linhas de programação como sinais de entrada dos blocos, sendo eles NA (Normalmente Aberto) ou NF (Normalmente Fechado). Contatos do tipo NA são aqueles que não há passagem de corrente elétrica na posição de repouso (sinal 0), sendo assim é necessário que ele seja acionado, fechando-se e permitindo a passagem de corrente (enviando sinal 1). Já os contatos do tipo NF são aqueles que têm passagem de corrente elétrica na posição de repouso (sinal 1), dessa forma quando acionado ele interrompe a passagem de corrente e conseqüentemente assumindo sinal 0.

Uma particularidade da FBL é que cada bloco representa uma função já pré-estabelecida que usa a combinação de sinais de entrada do bloco para converter em um único

sinal de saída do bloco. Assim, é possível compilar linhas de Linguagem Ladder em um único bloco com função específica.

Para os pontos da entrada digital do LOGO! 8, estão associadas as variáveis com símbolo I. O número máximo de pontos de entrada digital (I) varia conforme o modelo, podendo chegar a até 24 pontos de I01 até I24. Já os pontos de saída são identificados com o símbolo Q, recebendo as indicações de Q1 até Q20.

Além disso, as conexões de entrada dos blocos lógicos podem ter a representação “lo”, sinal com nível 0 - desligado/desenergizado; “hi”, sinal com nível 1 - ligado/energizado e “x” para quando a conexão existente não é utilizada.



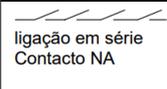
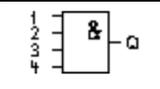
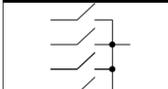
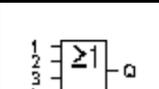
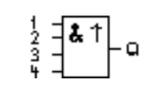
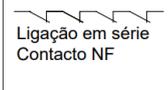
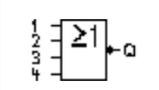
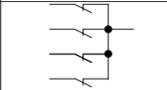
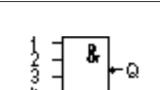
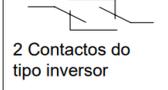
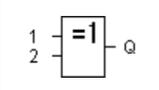
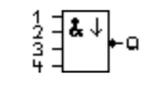
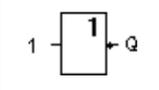
**Figura 1** - Representação de bloco no Display do LOGO!.

### 2.1.2 Programação Em Função Bloco Lógico (FBL)

Para realizar a programação em FBL, através do Software LOGO - COMFORT - V7, deve ser estabelecida a comunicação entre o CLP e o computador em que o software foi instalado, seguindo as recomendações do Manual de Instruções do LOGO - SIMATIC.

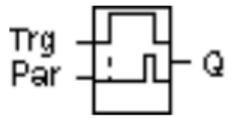
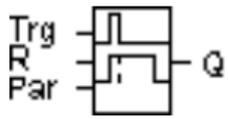
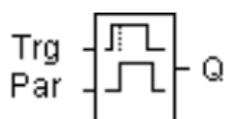
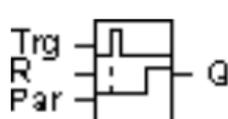
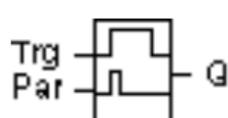
Feito isso, é possível selecionar um bloco que corresponde a uma saída (QN), uma função geral (GF) ou uma função especial (SF). Na entrada de sinal desse bloco é possível ligar uma entrada (Co), um outro bloco (BN) ou saída (QN), garantindo que o sinal de saída desses elementos sirva de entrada do bloco.

As funções gerais (GF) são aquelas que podem ser representadas por uma tabela verdade e, portanto, obedecem à lógica da álgebra booleana. Ela é constituída por 6 funções, mas existem 3 principais que representam os postulados de Boole.

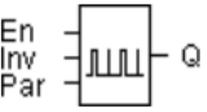
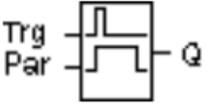
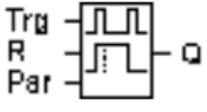
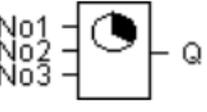
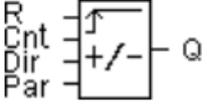
Representação no esquema de circuitos	Representação no LOGO!	Denominação da função básica	Representação no esquema de circuitos	Representação no LOGO!	Denominação da função básica
 ligação em série Contacto NA		AND (E) (vide página 96)	 Circuito em paralelo Contacto NA		OR (OU) (vide página 99)
		AND com avaliação do flanco (vide página 96)	 Ligação em série Contacto NF		NOR (Ou não) (vide página 100)
 Ligação em paralelo Contacto NF		NAND (E não) (vide página 97)	 2 Contactos do tipo inversor		XOR (exclusivo ou) (vide página 100)
		NAND com avaliação do flanco (vide página 98)	 Contacto NF		NOT (negação, inversor) (vide página 101)

**Figura 2** - Representação das Funções Gerais (GF).

Recebem o nome de funções especiais todas aquelas cuja representação não pode ser feita por uma tabela verdade, já que não obedecem à lógica booleana. Por possuírem diferentes possibilidades de parametrização, quando analisa-se o comportamento dessas funções, é necessário a análise de como se comporta por um período de tempo ou de pulsos. Ademais, elas possuem a propriedade de remanência, isto é, numa eventual falha os valores são guardados e quando o sistema é restabelecido, a função retoma do lugar em que parou, seja de contagem de pulsos ou de tempo.

Representação noLOGO!	Denominação da função especial	Rem
<b>Tempos</b>		
	Retardamento de ligação (vide página 114)	Rem
	Retardamento do desligamento (vide página 118)	Rem
	Retardamento de ligação/ desligamento (ver página 120)	Rem
	Retardamento de ligação a ser memorizado (vide página 122)	Rem
	Relé de passagem (emissão de impulsos) (vide página 124)	Rem

**Figura 3** - Representação das Funções Especiais (SF).

Representação noLOGO!	Denominação da função especial	Rem
	Relé de passagem comandado por flanco (vide página 126)	Rem
	Gerador de impulso assíncrono (ver página 129)	Rem
	Gerador de sinal aleatório (vide página 131)	
	Interruptor de luz da escada (vide página 133)	Rem
	Interruptor conforto (vide página 136)	Rem
	temporizador semanal (ver página 139)	
	temporizador anual (vide página 144)	
<b>Contador</b>		
	Contador crescente/decrecente (ver página 147)	REM

**Figura 4** - Mais representações das Funções Especiais (SF).

## 2.2 Projeto Elétrico

O projeto elétrico é o conjunto de todas as informações necessárias para realizar o trabalho: cálculos, desenhos, gráficos, materiais e tudo mais que se refere a uma instalação ou equipamento elétrico baseado em normas técnicas.

O projeto elétrico em questão foi concebido dentro das Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e dos padrões da Concessionária de Energia Elétrica local – COELBA (de acordo com a DIS-NOR-030), considerando um fornecimento, por parte desta, com a qualidade prevista na legislação vigente e necessária para partida e aceleração das máquinas, além da operação normal dos conjuntos moto-bombas. Ademais, utilizaremos as recomendações normativas do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB) para o correto dimensionamento dos painéis fotovoltaicos.

Foi utilizado como referência: a NBR-5410 – Norma para instalações elétricas de baixa tensão; NBR-16690 – Norma para instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos; DIS-NOR-030- Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição a Edificações Individuais.

### 2.2.1 Norma ABNT-NBR-5410

A ABNT NBR 5410 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade (ABNT/CB-03), pela Comissão de Estudo de Instalações Elétricas de Baixa Tensão (CE 03:064.01).

O objetivo da Norma 5410 é estabelecer as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.

Para fazer o projeto elétrico do sistema de captação e distribuição de água em Ipuacu-Bahia, foi obedecida a Norma ABNT 5410.

O dimensionamento é determinado de acordo com o tipo e tamanho do sistema requerido, demanda de carga elétrica, tensão de alimentação do circuito, elementos e equipamentos instalados e tipos de cargas alimentadas.

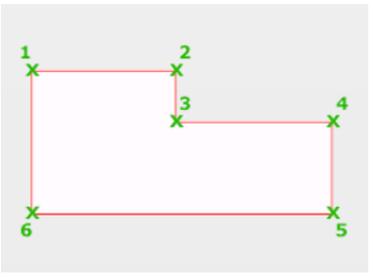
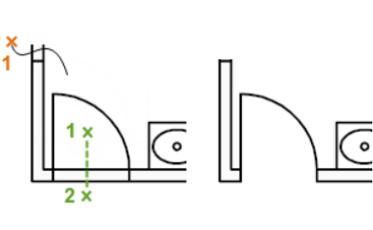
### 2.2.2 Programa de software para elaboração do Projeto Elétrico do sistema

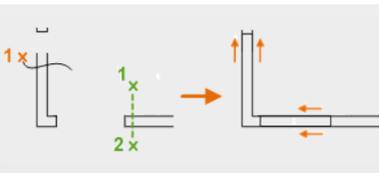
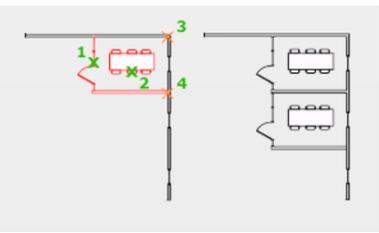
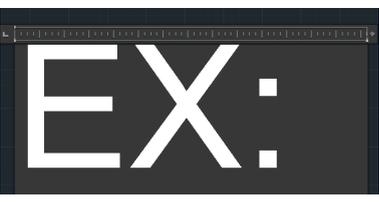
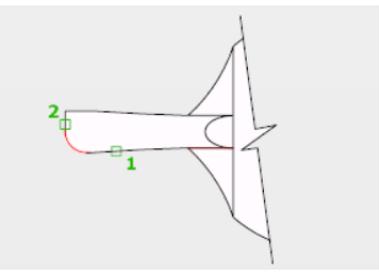
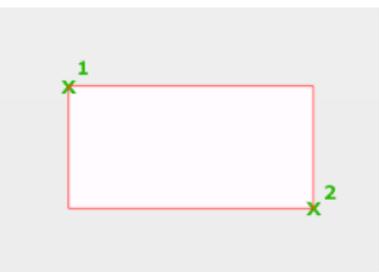
Para realizar o projeto elétrico foi utilizado o software AutoCAD, pois os conhecimentos sobre esse software foram apreendidos na componente curricular de desenho aplicado ao computador.

O AutoCAD é um software de CAD (projeto auxiliado por computador) que é usado para desenhos 2D e 3D precisos, projetos e modelagem com sólidos, superfícies, objetos de malha, recursos de documentação e traçado gráfico de plantas arquitetônicas e projetos elétricos.

O AutoCAD tem diversas ferramentas que podem ser utilizadas ou através de comandos ou clicando em seus ícones. O quadro abaixo, apresenta um guia das principais ferramentas do software.

**Tabela 2** - Principais ferramentas do AutoCad.

	<p><b>Line</b> ou <b>Linha</b> é uma ferramenta que tem como utilidade criar segmentos de linha reta. Desta forma, é possível criar uma série de segmentos de linha contíguos.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "L" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>
	<p><b>Polyline</b> ou <b>Polilinha</b> é uma ferramenta que tem como utilidade criar uma polilinha 2D - uma sequência conectada de segmentos criados como um objeto de plano único.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "PL" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>
	<p><b>Trim</b> ou <b>Aparar</b> é uma ferramenta que tem como utilidade aparar objetos para encontrarem as arestas de outros objetos.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "AP" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>

	<p><b>Extend</b> ou <b>Estender</b> é uma ferramenta que tem como utilidade estender um objeto até que ele encontre a aresta de outros objetos.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "EST" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>
	<p><b>Offset</b> ou <b>Copiar</b> é uma ferramenta que tem como utilidade copiar objetos com uma distância especificada em uma direção especificada.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "CO" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>
	<p><b>Multiline Text</b> ou <b>Texto Multilinha</b> é uma ferramenta que tem como utilidade criar uma caixa de texto multilinha.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "T" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>
	<p><b>Fillet</b> ou <b>Concord</b> é uma ferramenta que tem como utilidade arredondar e fazer a concordância das arestas de objetos.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "CNC" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>
	<p><b>Rectangle</b> ou <b>Retângulo</b> é uma ferramenta que tem como utilidade criar uma polilinha retangular com base nos parâmetros de retângulo.</p> <p>Acesse a ferramenta através do comando "RET" seguido de [ENTER] ou clicando em seu ícone.</p>

### 2.2.3 Projeto Fotovoltaico

Para realizar o projeto fotovoltaico que alimentará as bombas da captação de água no sistema foram utilizados os procedimentos descritos no programa Sundata, no qual encontra-se o Manual de Dimensionamento de Painéis Fotovoltaicos do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), oriundo do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), Ministério de Minas e Energia, Brasil.

Portanto, para cumprir as recomendações supracitadas que garantem o correto dimensionamento dos painéis, é necessário: quantificar a média de consumo de energia mensal, determinar o índice solarimétrico da região, considerando um mês com 30 dias e uma eficiência do sistema de 83%.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A importância da qualidade da água

A situação no Brasil é preocupante; os dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), ano-base 2018, mostram que cerca de 83,3% dos brasileiros são atendidos com abastecimento de água tratada, 50,3% da população possui acesso à coleta de esgoto e somente 42% dos esgotos são tratados.

No Brasil, em 2020, foi instituído no Brasil o novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei Nº 14.026/2020, que estabelece duas metas principais até 2033: garantir que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento e à coleta de esgoto. O novo Marco Legal passa a atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento.

A potabilidade da água é definida por Leis, que estabelecem os parâmetros para desinfecção da água. Embora existam populações que habitam locais periféricos, distantes de áreas urbanas que utilizam água de fontes não seguras. Por exemplo, a Lei de determinação de cloro (Lei 1469, no Art. 13º) é um exemplo de instrumento para estabelecer os parâmetros de uso de cloro no tratamento de água.

Os níveis de cloro na água seguem uma rígida legislação sendo definidos pela Portaria da Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde. Na Portaria recomenda-se que a água fornecida contenha um teor mínimo de 0,2 miligramas por litro (mg/L) e máximo de 5mg/L de cloro residual livre. O cloro é importante agente de desinfecção da água e dentro da concentração determinada por Lei não apresenta efeito tóxico.

O tratamento da água pode ser realizado para atender de forma geral 3 aspectos: 1. Aspectos Higiênicos - remoção de bactérias, protozoários, vírus e outros microrganismos, de substâncias nocivas, redução do excesso de impurezas e dos teores elevados de compostos orgânicos; 2. Aspectos Estéticos - correção da cor, sabor e odor; e, 3. Aspectos Econômicos - redução de corrosividade, cor, turbidez, ferro e manganês.

Em Ipuacu, na Bahia, o tratamento da água visa os aspectos higiênicos e tem como metas: Captar a água do rio e tornar essa água potável, para distribuição à população.

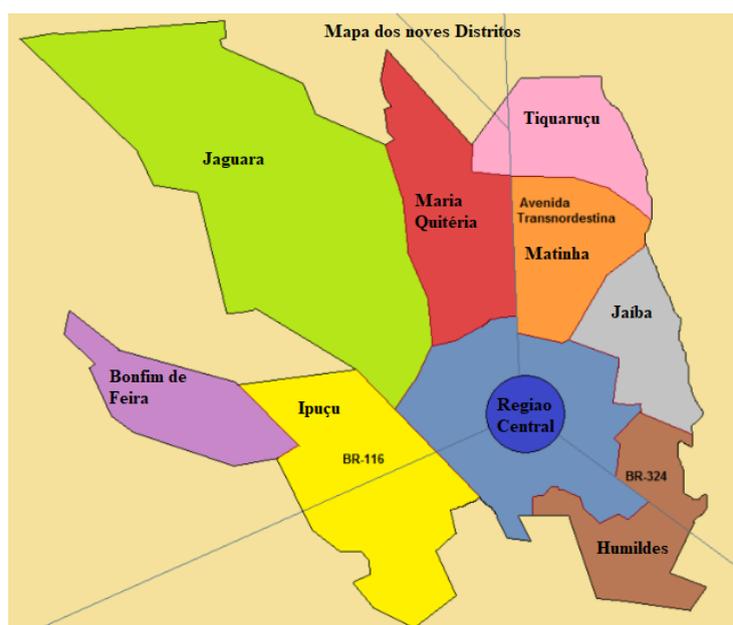
Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o principal objetivo do saneamento básico é prevenir doenças que podem se proliferar devido à falta desse serviço. A má qualidade da água, má deposição de dejetos, destino inadequado do lixo e ambientes poluídos

são reflexos da falta desse serviço, e virando fonte de proliferação de doenças. As doenças com maiores incidências devido a exposição a esses ambientes são: Leptospirose, Disenteria Bacteriana, Esquistossomose, Febre Tifóide, Cólera, Parasitóides, além do agravamento das epidemias tais como a Dengue. A diarreia, segundo a Unicef, é a segunda maior causa de mortes em crianças abaixo de cinco anos de idade.

### 3.2 O distrito de Ipuçu e o abastecimento de água

A região de Governador Dr. João Durval Carneiro, também conhecida como Ipuçu, encontra-se a 109 Km de Salvador, capital do estado, e faz parte de um dos nove Distritos do Município de Feira de Santana na Bahia, onde se localiza a comunidade Alto da Cabrita, com mais 1.500 famílias residentes.

Segundo o IBGE, 2022, a cidade de Feira de Santana possui oito distritos, os quais são: Bonfim de Feira (oeste), Governador João Durval Carneiro (oeste), Humildes (leste), Jaguará (norte), Jaíba (leste), Maria Quitéria (norte), Matinha (norte) e Tiquarucu (norte). Os distritos mais populosos são Maria Quitéria, com mais de 15 mil habitantes e Humildes com cerca de 14,5 mil habitantes, e os menos populosos são Bonfim de Feira e Governador João Durval, ambos com cerca de 4000 habitantes. No mapa da Figura 05 é possível visualizar a organização geográfica dos oito distritos e a região Central.



**Figura 5** - Mapa da organização geográfica dos Distritos de Feira de Santana.

### 3.2.1 Sistema de distribuição de água

O Município de Feira de Santana alcança cobertura de 98% em abastecimento de água e 68% em coleta e tratamento de esgoto. A Embasa vem apresentando um intenso ritmo de investimentos em infraestrutura de água e esgoto no âmbito do programa estadual Água Para Todos desde 2007.

Segundo a Embasa, 89,88% da população total de Feira de Santana tem acesso aos serviços de abastecimento de água. A média do estado da Bahia é 80,97% e, do país, 84,2%.

Depois de tratada, a água é armazenada em reservatórios de distribuição para, depois, ser levada até os reservatórios de bairros, estrategicamente localizados. De lá, a água segue por tubulações maiores (adutoras) e entra nas redes de distribuição até chegar ao consumidor final.

Em Ipuacu a água é captada, tratada e armazenada no reservatório de distribuição o qual por gravidade chega a cidade, entre os tanques são necessários sistemas de automação elétrica para o comando dos elementos atuadores.

### 3.3 Sistema de tratamento da água

O tratamento de água é um conjunto de procedimentos físicos e químicos que são aplicados à água para que esta se torne potável, ou seja, para que a água fique em condições adequadas para o consumo. O processo de tratamento de água a livra de qualquer tipo de contaminação, evitando a transmissão de doenças - a água sem tratamento sanitário pode ocasionar uma série de doenças, se ingerida ou utilizada para banho, higiene pessoal, lavagem ou cozimento de alimentos - e danos ao meio ambiente.

O tratamento de água é realizado nas Estações de Tratamento de Água (ETAs), nas quais o processo convencional de tratamento de água é dividido em etapas.

A captação da água é a primeira etapa. A água bruta (não tratada) é captada de lagos, rios e nascentes ou subterrâneos (poços), por meio de adutoras, e chega até o tanque da estação de tratamento de água, passando por um sistema de grades que impede a entrada de elementos macroscópicos como, por exemplo, animais mortos, galhos, folhas etc. Os sólidos presentes em uma água bruta e poluída devem se aglomerar com relativa facilidade.

Em seguida temos a Coagulação e a Floculação. Na coagulação, é onde ocorre o fenômeno de agrupamento das impurezas presentes na água. Nesta fase, é adicionado sulfato de alumínio, cloreto férrico ou outro coagulante, seguido de uma agitação violenta da água. Estas substâncias, servem para que as impurezas presentes na água se aglomerem (juntem), ou seja, a ação dos coagulantes fazem com que as partículas de sujeira fiquem eletricamente desestabilizadas, se tornando mais fáceis de agregar.

Nesta etapa também poderá ser necessária a utilização de um alcalinizante (Cal Hidratada ou Cal Virgem) que fará a necessária correção de pH para uma atuação mais efetiva do coagulante.

Já na Floculação, após a coagulação, há uma mistura lenta da água, em tanques de concreto, a fim de possibilitar que as partículas sólidas se aglutinem em flocos maiores com microestrutura porosa para que possam decantar-se de forma eficiente.

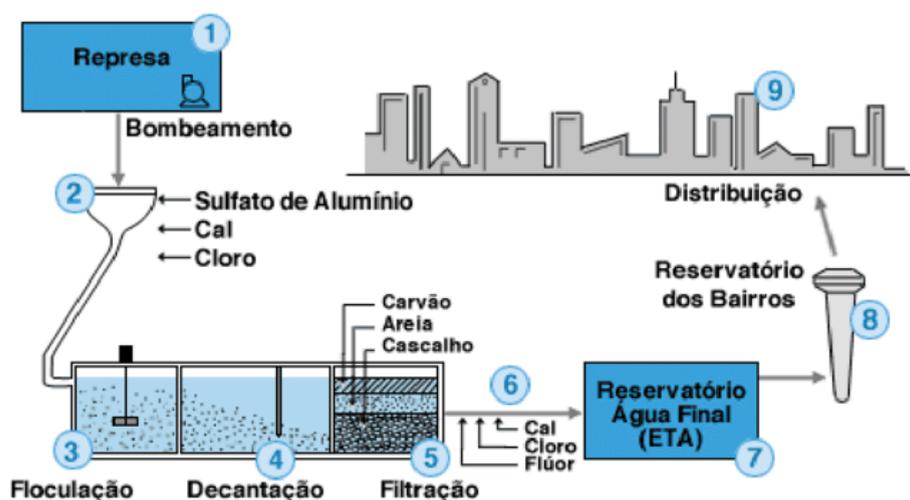
Na quarta etapa, a Decantação, a água é direcionada para outros tanques, e, por ação da gravidade, os flocos formados na etapa anterior com as impurezas e partículas ficam depositadas no fundo dos tanques, separando-se da água.

A água decantada é encaminhada às unidades filtrantes onde é efetuado o processo de filtração, a quinta etapa. Esta água atravessa tanques formados por uma ou mais camadas de pedras, areia, carvão antracito e diversos outros elementos filtrantes. Eles têm como função, reter e remover as impurezas restantes da fase de decantação.

Logo em seguida, temos a sexta etapa, a Desinfecção. Para realizar-se a desinfecção de águas de abastecimento utiliza-se um desinfetante, podendo ele ser um agente físico ou químico, cuja finalidade é a destruição de microrganismos patogênicos que possam transmitir doenças através das mesmas. Garantindo assim, que a água fornecida chegue isenta de bactérias e vírus até a casa do consumidor. Os agentes desinfetantes, normalmente utilizados em abastecimento público, são: cloro, ozônio, luz ultravioleta e íons de prata.

Por fim, temos a sétima etapa. A Fluoretação da água de abastecimento público é efetuada através de compostos à base de flúor. A aplicação destes compostos na água de abastecimento público se faz necessária para a redução da incidência de cárie dentária em até 60%, isso se as crianças ingerirem, desde o seu nascimento, quantidades adequadas de íon fluoreto.

Vale salientar que, em cada uma dessas etapas existe um rígido controle de dosagem de produtos químicos e acompanhamento dos padrões de qualidade. A figura 06 apresenta as etapas do tratamento de água.



**Figura 6** - Etapas do tratamento de água.

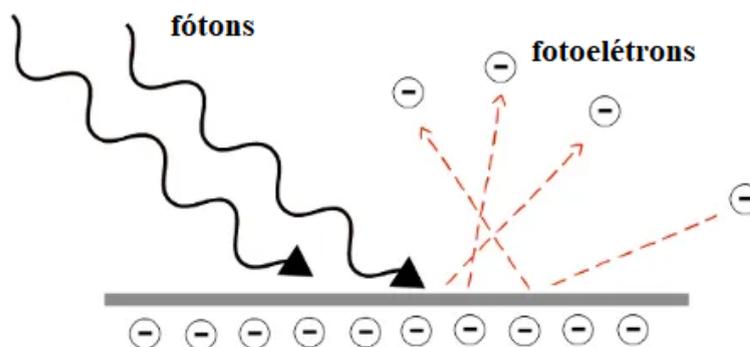
### 3.4 O Efeito Fotoelétrico

Segundo Einstein (1905), no efeito fotoelétrico, o agente responsável pela ejeção de cada elétron é um único fóton, uma partícula de luz que transfere aos elétrons uma parte de sua energia, ejetando-o do material, desde que sua frequência seja grande o suficiente para tal. Para Plank, a luz irradiada por um corpo negro era quantizada, isto é, apresentava um valor mínimo de energia, como em pequenos pacotes.

Com as contribuições de Einstein e Plank, foi enunciado que: "O efeito fotoelétrico consiste na ejeção de elétrons de um material exposto a uma determinada frequência de radiação eletromagnética. Os pacotes de luz, chamados de fótons, transferem energia para os elétrons. Se essa quantidade de energia for maior do que a energia mínima necessária para se arrancar os elétrons, estes serão arrancados da superfície do material, formando uma corrente de fotoelétrons."

Com essa definição é possível fazer uma figura que representa o efeito fotoelétrico, onde o fóton ao se chocar com uma placa metálica, resulta pela transferência de energia, em

uma corrente de fotoelétrons. A figura 07 representa o efeito fotoelétrico em uma placa metálica.



**Figura 7** - Efeito fotoelétrico.

Segundo publicação do Departamento de Elétrica, UFPR 2020, a luz solar é composta de fótons, ou partículas de energia solar. Estes fótons contêm grande quantidade de energia, correspondente aos diferentes comprimentos de onda do espectro solar. Quando os fótons colidem com uma célula fotovoltaica, eles podem ser refletidos ou absorvidos, ou mesmo atravessar direto a célula. Somente os fótons absorvidos geram eletricidade. Quando isto acontece, é transferida a energia do fóton a um elétron em um átomo da célula (que é de fato um semiconductor). Com essa nova energia, o elétron sai de sua posição original no átomo para se tornar parte da corrente, em um circuito elétrico. Deixando sua posição inicial, o elétron deixa uma "lacuna" para que outro elétron a ocupe. Propriedades especiais das células fotovoltaicas (um campo elétrico nela embutido) fazem com que a corrente produza uma DDP para que haja corrente em uma carga externa.

A DDP gerada na placa é usada na carga, no caso do presente trabalho, a carga será as bombas de água, ou seja, a fonte de alimentação elétrica das bombas, é por meio da energia solar. Entretanto, a corrente gerada inicialmente é contínua (CC), ou seja, fluxo constante de elétrons em uma direção, convencionalmente indo do polo de maior potencial (positivo) para o de menor potencial (negativo). Desta forma, a carga em questão ( bomba d'água) pode ser em CC ou ainda, havendo conversão através de inversores e retificadores, podendo ser em CA.

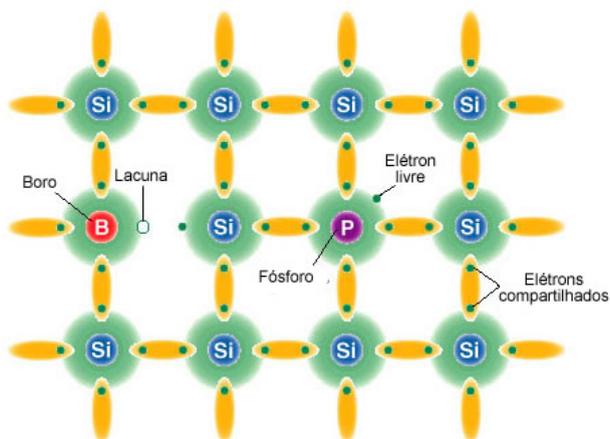
### 3.4.1 Semicondutores

Segundo Malvino (2016), um material semiconductor é aquele que apresenta características de condutividade entre os materiais isolantes e os condutores de eletricidade, os mais comuns são o germânio, silício e o carbono. A grande diferença desses materiais, que os torna tão importantes, é a facilidade de liberar um elétron excitado na camada de valência para uma camada mais externa, gerando uma lacuna no lugar em que esse elétron estava. Essas lacunas comportam-se como uma carga positiva, atraindo outros elétrons que estejam livres na rede cristalina.

Dessa forma, para aumentar ou diminuir a quantidade de lacunas que um semiconductor pode gerar e, conseqüentemente, alterar sua condutividade elétrica de forma controlada, utiliza-se a adição de impurezas químicas, como o fósforo ou boro, para mudar as propriedades físicas dos semicondutores. Este processo recebe o nome de **Dopagem Eletrônica**.

Logo, quando o cristal de semiconductor é considerado puro, isto é, possui não mais do que um átomo de elemento químico estranho para cada um bilhão de átomos do material escolhido, é chamado de **semiconductor intrínseco**. Tal teor de impureza é chamado 1 ppb, pois representa uma parte por bilhão. Assim sendo, o cristal é estável e comporta-se como isolante. Neste tipo de semiconductor, a geração de elétrons livres e de lacunas possuem quantidades iguais e ocorrem geralmente por conta do efeito térmico.

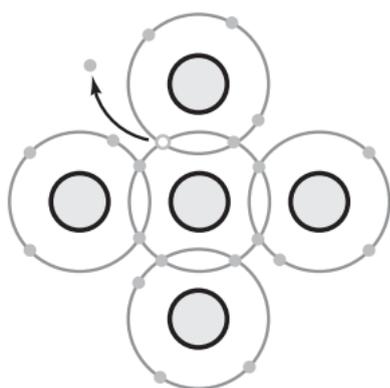
Por outro lado, o semiconductor é considerado dopado quando possui um átomo de elemento químico estranho para cada um milhão de átomos do material escolhido. Ou seja, 1 ppm, porque representa uma parte por milhão. Já neste tipo de semiconductor, há uma diferença entre a quantidade de elétrons livres e lacunas no material.



**Figura 8** - Representação de cristal de silício dopado com boro e fósforo.

### 3.4.2 Portadores de carga no Semicondutor Dopado

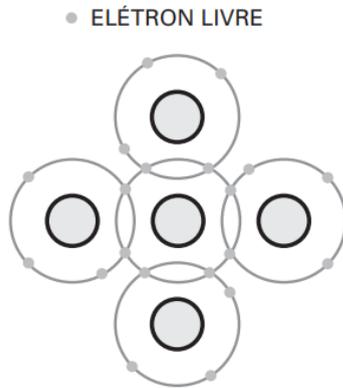
Malvino (2016) ressalta que os semicondutores são elementos que possuem quatro elétrons em sua camada de valência, logo, procuram fazer ligações que viabilizem o número de oito elétrons na camada de valência, obedecendo a Regra do Octeto que dita a maneira em que um átomo encontra-se mais estável.



**Figura 9** - Foto de átomos de silício em uma ligação covalente que obedece a regra do octeto. Com lacuna e elétron livre oriundo da energia térmica.

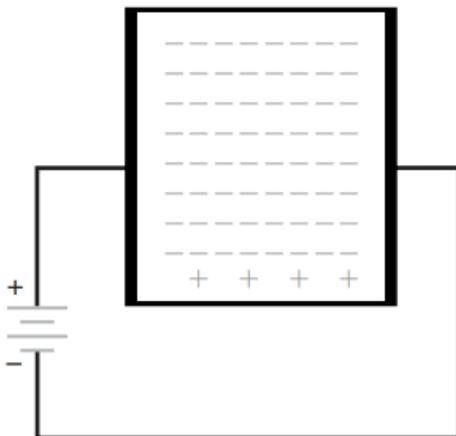
Assim, quando é preciso aumentar o número de elétrons na dopagem do semicondutor, adiciona-se átomos pentavalentes (cinco átomos na camada de valência), como o arsênio,

antimônio e fósforo (mais comum). Portanto, o átomo pentavalente faz as ligações com o semicondutor, obedecendo a regra do octeto, e como há um elétron adicional, aumenta a quantidade de elétrons livres na rede cristalina.



**Figura 10** - Átomo pentavalente central ligado a quatro átomos de semicondutor.

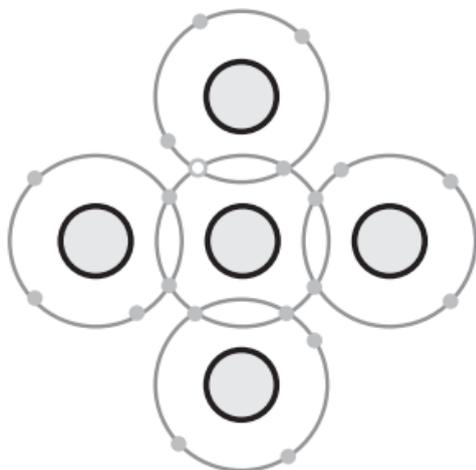
O semicondutor dopado por essas impurezas é chamado de **semicondutor tipo n**, pois possui uma carga mais negativa. Os elétrons livres num semicondutor tipo n recebem o nome de **portadores majoritários**, já que excedem o número de lacunas, chamadas de **portadores minoritários**.



**Figura 11** - Representação dos portadores de carga em um semicondutor tipo n.

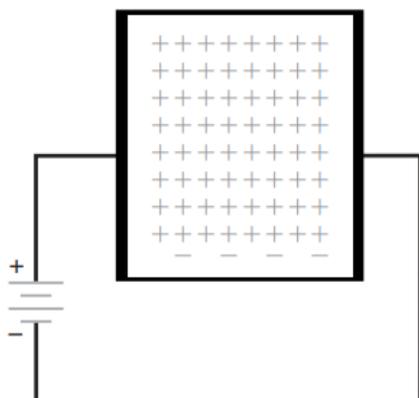
Na contramão do que ocorre no processo de dopagem dos semicondutores do tipo n, é possível dopar um semicondutor a fim de garantir um excesso de lacunas, adicionando átomos

trivalentes (três átomos na camada de valência), como o alumínio, gálio e boro (mais comum). Conseqüentemente, as ligações entre o átomo trivalente e o semiconductor gera sete elétrons na camada de valência, ficando uma lacuna na camada de valência do átomo.



**Figura 12** - Átomo trivalente central ligado a quatro átomos de semiconductor.

O semiconductor dopado por essas impurezas é chamado de **semiconductor tipo p**, porque possui mais cargas positivas. Nesse caso, as lacunas são os portadores majoritários, enquanto os elétrons são os portadores minoritários.



**Figura 13** - Representação dos portadores de carga em um semiconductor tipo p.

### 3.5 Painéis Solares

Segundo o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB-2014), os painéis são constituídos de células fotovoltaicas. Sendo estas fabricadas de materiais semicondutores, como por exemplo: o silício (Si) que é utilizado na fabricação da grande maioria das células. Podendo essas células, segundo o CRESESB, serem constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo.



**Figura 14** - Modelo de células fotovoltaicas.

#### 3.5.1 Silício Monocristalino

De acordo com o manual CRESESB (2014), a célula de silício monocristalino é historicamente a mais utilizada e comercializada com o intuito de converter diretamente a energia solar em eletricidade.

Sua fabricação tem início na extração do cristal de dióxido de silício. Sua desoxidação acontece em grandes fornos, onde é purificado e solidificado. Este processo é capaz de atingir um grau de pureza entre 98 a 99 % , valores considerados eficientes sob o ponto de vista energético.

Para ser utilizado na indústria eletrônica, o silício deve ser fundido juntamente com uma pequena quantidade de material dopante (material introduzido na estrutura cristalina de uma substância com o objetivo de alterar suas propriedades elétricas, no caso de cristais semicondutores), normalmente o boro que é do tipo p (aceitador de elétrons, responsável pela criação das lacunas).

Após o corte e limpeza de impurezas, deve-se introduzir impurezas como o fósforo, do tipo n (doador de elétrons, responsável pela criação de elétrons em excesso na rede cristalina do semiconductor). Desta forma, obtemos a junção P-N que tem como função a passagem de elétrons livres do lado n para o lado p, onde encontram as “lacunas” que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons do lado p, tornando-o carregado negativamente e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo.

Dentre as células fotovoltaicas, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. As fotocélulas comerciais obtidas com o processo descrito acima atingem uma eficiência média de até 18%. Consequentemente, são ideais para áreas com pouco espaço, gerando mais energia por metro quadrado e para dias nublados ou locais com sombra parcial. Além disso, possuem uma vida útil enorme, podendo durar incríveis 30 anos. Em contrapartida, possuem um custo inicial um pouco maior que outros tipos e tem a sua eficiência afetada com valores mais altos de temperatura.

### 3.5.2 Silício Policristalino

O manual CRESESB-2014 definirá também este tipo de painel. As células de silício policristalino são mais baratas que as do tipo anterior, já que exigem um processo menos rigoroso de preparação das células. Como consequência, sua eficiência cai um pouco quando comparada com as células de silício monocristalinas.

Seu processo de purificação do silício é similar ao processo do tipo monocristalino, porém com menores rigores de controle. Podendo ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo morfologia, tamanho e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais.

Estas células destacam-se pelo seu custo-benefício, por serem menos sensíveis à temperatura, portanto ideais para climas quentes. Contudo, são menos eficientes como já citado e em virtude disso, ocupam uma área maior para gerar a mesma quantidade de energia que os monocristalinos. Ademais, possuem uma menor vida útil.

### 3.5.3 Silício Amorfo

E por fim, o manual CRESESB-2014, definirá a célula de silício amorfo como uma célula que difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem em sua estrutura atômica. Este tipo de silício, por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa visível e uma fabricação a partir da deposição de diversos substratos, mostra-se como uma tecnologia interessante para sistemas fotovoltaicos de baixo custo. Possuindo duas grandes desvantagens, dentre elas: baixa eficiência em relação às duas anteriores e suas células são degradadas logo nos primeiros meses de operação, reduzindo sua vida útil e, por conseguinte, sua eficiência proporcionalmente com a redução dela.

Apesar disso, possui vantagens capazes de compensar as deficiências supracitadas, são elas: um processo de fabricação simples e barato, gastando-se menos energia e materiais e a possibilidade de fabricação de células com grandes áreas.

## 3.6 Bombeamento Solar

As bombas são utilizadas para transportar fluidos de um local para outro, tanto em unidades industriais, quanto em residências. A energia utilizada para esse fim pode ser elétrica, solar ou a combustível. Pensando na sustentabilidade existe a opção de fazer um sistema solar para a realização da tarefa.

O Bombeamento Solar Fotovoltaico é uma opção viável para movimentar fluidos com base na energia solar. Normalmente aplicado no bombeamento de água em sítios e fazendas e na extração de águas de poços. O principal papel é: Bombear fluidos para uma aplicação específica. Aplicações comuns: Irrigação de cultivos. Dentre as diversas aplicações é possível citar: Uso na irrigação da agricultura, uso em reservatórios e armazenamento, uso na pecuária para hidratar rebanhos, nos processos de dessalinização e purificação da água, entre outros. A figura 15 apresenta um exemplo de um sistema de bombeamento solar.



**Figura 15** - Exemplo de um sistema de bombeamento solar.

No presente trabalho foi pensado utilizar a bomba solar para transportar a água de captação para o primeiro tanque.

O sistema de bombeamento funciona com o drive conectado aos painéis solares, que têm a função de captar a luz do sol. Tal energia recebida é convertida em eletricidade para depois ser enviada para o drive. Assim, a energia recebida pela bomba ou motor inicia-se o processo de bombeamento de água.

Segundo o portal solar, os principais tipos de bombas são: Bombas submersas e bomba solar de superfície. A bomba solar submersa é instalada dentro da água, seja em um reservatório, poço ou na água corrente. Ela possui uma simples manutenção, é econômica e está disponível em pequeno e médio porte. A bomba solar de superfície são bombas econômicas e possuem fácil manutenção. Elas ficam situadas nas proximidades da superfície da água, puxando-a da fonte e a deslocando para o uso em reservatório.

### 3.6.1 Motores Elétricos

Segundo Fedrizzi (1997), no conjunto motobomba, os motores elétricos são os elementos responsáveis pela transformação de energia elétrica em mecânica. Estes quando

acoplados nas bombas, transferem o movimento mecânico, efetivando a movimentação dos fluidos.

No sistema de bombeamento solar existem três tipos de motores geralmente utilizados: motores em corrente alternada, motores em corrente contínua com escovas e motores em corrente contínua sem escovas.

De acordo com Fedrizzi (1997), os motores de corrente alternada são os mais utilizados nas instalações, pelo grande número de aplicações, disponibilidade comercial e preços reduzidos. Os motores CA possuem dois componentes principais: o estator e o rotor. O estator é a parte fixa do motor, com bobinas de fio que geram um campo magnético rotativo quando energizadas pela corrente alternada. Já o rotor é a parte giratória do motor, que induz correntes elétricas em suas próprias bobinas sob a influência do campo magnético rotativo do estator. Essa interação entre os campos magnéticos gera o torque que faz o motor girar. Contudo, por necessitar de inversores, não se aconselha seu uso para sistemas de bombeamento solar de pequeno porte ( $< 400 \text{ Wp}$ ) graças ao encarecimento desnecessário do projeto.

Os motores em corrente contínua são os mais indicados para bombeamento solar, já que dispensam o uso de inversores devido a compatibilidade com os módulos de geração de energia.

Os modelos com escovas utilizam escovas de carvão que fazem contato elétrico entre o estator e o rotor, gerando o campo magnético que impulsiona o motor. No entanto, possuem um alto preço inicial e necessitam de manutenções periódicas e trocas recorrentes, já que existe um desgaste gerado pela fricção entre as escovas e o comutador. Além disso, são menos eficientes energeticamente do que os sem escovas.

Já os modelos sem escovas comutam a corrente eletronicamente, gerando variação de fluxo e, por isso, rotação. Desta forma, apresentam maior eficiência que os motores CA, não necessitam de manutenções periódicas, reduzindo seus custos de manutenção. Entretanto, por possuírem uma construção mais complexa, existe um maior custo inicial.

### 3.7 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável, o CLP é um dispositivo eletrônico com hardware e software que permite comandar aplicações industriais. Ou seja, é um produto similar a um computador onde se é possível inserir um comando para realizar atividades industriais específicas. Ele também pode ser conhecido como PLC, sigla em inglês para Programmable Logic Controller.

A **General Motors** (GM) passou a ter como propósito confeccionar um produto que proporcionasse essa **versatilidade** e **rapidez de processo**, que substituísse os relés e permitisse fazer modificações rápidas no processo produtivo. No entanto, foi somente no final da década que surgiu o primeiro dispositivo de computação que atendeu às especificações da GM para a linha de produção automobilística. Assim, a empresa norte-americana Bedford Associate lançou, em 1968, o primeiro CLP chamado MODICON 084 (Modular Digital Controller).

Segundo a Altus, O CLP pode ser considerado um dispositivo multifuncional, já que cada unidade pode abrigar um programa diferente, com funcionamentos, comandos e atividades variadas, necessários para o acionamento e monitoramento dos processos de uma empresa. Dentre os seus componentes estão o processador, a memória, a fonte de alimentação, os módulos de entrada e de saída e os dispositivos de programação.

A linguagem ladder é um modelo de programação gráfica aplicada ao desenvolvimento de softwares dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). Em outras palavras, é responsável por informar quais ações devem ser realizadas a partir do comando solicitado.

Por esse motivo, os controladores, que são um tipo diferenciado de computador utilizado na indústria para controle de máquinas e processos de automação, são programados por essa linguagem que usa funções com lógica semelhante à dos circuitos elétricos e relés.

Ou seja, os diagramas de contatos da linguagem ladder são representados por uma imagem gráfica, formada por duas linhas verticais que simbolizam a fonte de alimentação em que serão inseridas linhas de programação. Vale destacar que entre as duas linhas são desenhados ramos horizontais dotados de chave, a fim de identificar a situação das entradas do CLP (abertas ou fechadas).

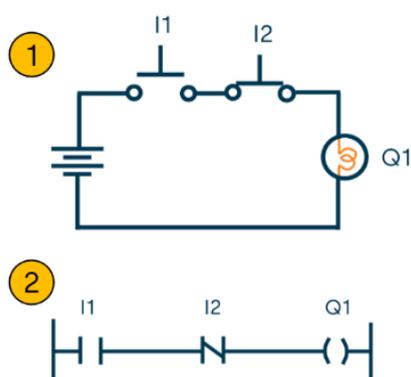
### 3.7.1 Linguagens de Programação

O Comitê Internacional de Eletrotécnica estabelece pela Norma IEC 61131-3:20133 cinco tipos de linguagem de programação com sintaxes e semânticas específicas, o que elimina a chance de dialetos. São duas linguagens textuais e duas gráficas: Textuais - Lista de Instruções (IL) e Texto Estruturado (ST); Gráficas - Diagrama Ladder (LD) e Diagrama de Blocos Funcionais (FBD).

A IEC definiu funções padrões e funções definidas pelos usuários. Funções padrões são, por exemplo, ADD(ition), ABS (absolute), SQRT, SINus e COSinus. Funções definidas pelo usuário, uma vez definidas, podem ser usadas inúmeras vezes.

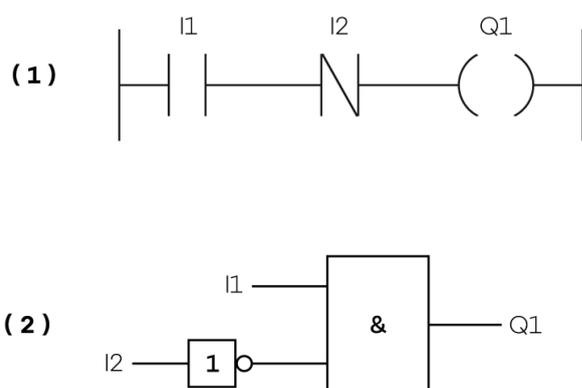
As linguagens gráficas são criadas com elementos visuais, dentre elas, temos o Linguagem Ladder (LD) e o Diagrama de Blocos Funcionais (FBD).

A linguagem Ladder, também chamada de Lógica da escada, é uma linguagem baseada em diagramas de circuitos de lógica de relés e contadores convencionais, ou seja, reproduz a lógica de um diagrama elétrico. É onde se tem a combinação de contatos abertos ou fechados e cargas. A linguagem Ladder se destaca entre as demais linguagens, por causa da sua similaridade com um diagrama elétrico, tornando-se assim a mais utilizada entre os fabricantes. Na figura 16, pode-se observar a representação do circuito em Ladder, na qual a carga Q1 depende dos interruptores I1 e I2.



**Figura 16** - Apresentação do diagrama elétrico e Ladder.

A linguagem de Diagrama de Blocos Funcionais é uma linguagem gráfica de conexões aritméticas, booleanas ou outros elementos funcionais e/ou blocos funcionais. É onde se tem vários tipos de blocos que possuem diversas entradas e apenas uma saída, existindo a possibilidade de conexão entre blocos - a saída de um bloco pode alimentar a entrada de outro bloco. Os dispositivos conectados ao CLP podem ser vinculados a uma entrada e as variáveis podem ser enviadas a uma saída. Na figura 17, temos um bloco que substitui a linguagem ladder, sendo que temos as entradas e o modo como estão disponibilizadas (em série), faz com que a lógica booleana que deve ser utilizada é a AND (E), para então termos uma saída - para que esta seja ligada (estado lógico 1), a entrada I1 tem que ser acionada (sinal 1) e I2 não pode ser acionada (sinal 0).



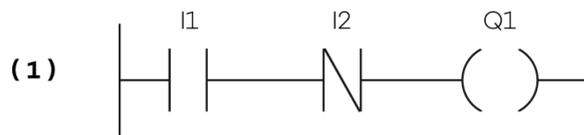
**Figura 17** - Bloco lógico que substitui a função ladder.

Já as linguagens textuais usam strings de texto - sequências de caracteres alfanuméricos (letras, números e/ou símbolos) amplamente usadas em programação. Dentre as linguagens textuais, temos a Lista de Instruções (LI) e o Texto Estruturado (ST).

Segundo Ferreira (2023), a linguagem de Lista de Instruções (LI), também comumente referenciada pelo nome original da língua inglesa, Instruction List (IL), define mnemônicos (auxiliar de memória) como é feito na linguagem assembly utilizada nos microprocessadores e microcontroladores, que são descritos em norma, a norma IEC 1131-3. Os mnemônicos representam operações lógicas booleanas e comandos de transferência de dados. Em relação às demais linguagens, apresenta as seguintes características:

- Vantagens: Correspondência entre comandos da linguagem e as instruções assembly do CLP, facilitando a estimativa do tempo de execução do programa. Documentação mais compacta do que a equivalente com relés.
- Desvantagens : Necessidade de familiarização do operador com álgebra booleana.

Na figura 18, tem-se a representação do circuito em ladder (1), o mesmo dos exemplos anteriores, portanto, a mesma lógica, onde temos um contato aberto, em série com um fechado, em série com a bobina. A representação em IL (2), apresenta 3 linhas que representam cada um dos 3 elementos, primeiro o código booleano (instruções) e depois a variável (se entrada ou saída). Na programação, utiliza três instruções que são: leitura de variável (LD), função booleana AND negada (ANDN) e atribuição de valor (ST).



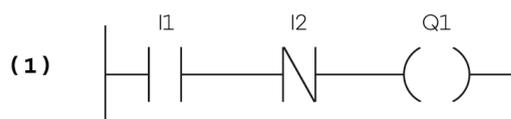
(2)

Lista de Instruções	
LD	I1
ANDN	I2
ST	Q1

**Figura 18** - Representação IL de uma mesma lógica em ladder.

A linguagem Texto Estruturado (ST), uma linguagem de programação de CLP de alto nível, é um conjunto de operações matemáticas complexas localizadas dentro de um vetor de programação ou mesmo em tabelas que usam a tabela ASCII - baseado no alfabeto romano e sua função é padronizar a forma como os computadores representam letras, números, acentos, sinais diversos e alguns códigos de controle - como protocolo de comunicação. Sendo, as raízes de fundação dessa linguagem, baseadas em Pascal, Ada e “C” (linguagens de programação). Com ela, podemos especificar um conjunto de ações aplicadas aos dados de entrada e lógicas cíclicas. Como também, apresenta-se vantajosa para fazer coisas como: análise de código de barras, looping, manipulação de dados, preencher a lacuna para código

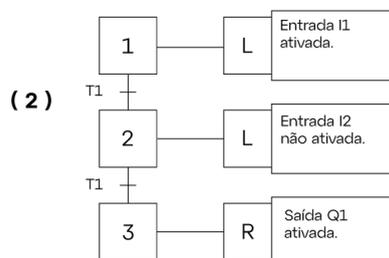
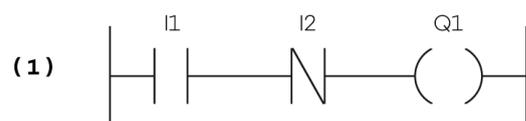
de máquina, matemática complicada ou pesquisar dados. Temos a representação em ST (2) ou texto estruturado, na figura 19, na mesma lógica dos exemplos anteriores, em que pode-se visualizar a sua semelhança entre com uma função matemática, ou seja, para realizar cálculos de contagem de pulsos, de manipulação de entradas e saídas analógicas, essa linguagem é muito indicada



(2)    %Q1 := %I1 AND Not %I2;

**Figura 19** - Representação em texto estruturado de uma mesma lógica em ladder.

Ademais, temos a linguagem Gráficos de Função Sequencial ou Sequential Function Charts (SFC), uma linguagem de programação de CLP gráfica baseada em Redes de Petri e GRAFCET, e que acaba se assemelhando a fluxogramas de algoritmos de ciência da computação. GRAFCET é um método gráfico de apoio à concepção de sistemas industriais automatizados, que permite representar, através de modelos do tipo dos gráficos de estados, o comportamento de sistemas sequenciais, isto é, que descreve o comportamento sequencial de sistemas de controle na forma de estado e as transições desses estados. O SFC acaba se tornando ideal para processos complexos de vários estados, processos vinculados, quando há vários processos a serem executados em paralelo ou sequencialmente e produção em lote, pois um dos grandes benefícios de usá-lo é como ele pode simplificar um processo complicado, dividindo-o em partes mais gerenciáveis. Na figura 20, temos um diagrama lógico (quase como um fluxograma), que é justamente o SFC (2) - mais conhecido como GRAFECT -, no qual, cada retângulo, representa um estado específico, seguidos pelas linhas que ligam cada um dos estados e em cujas linhas horizontais, representam a mudança de estados (transições).



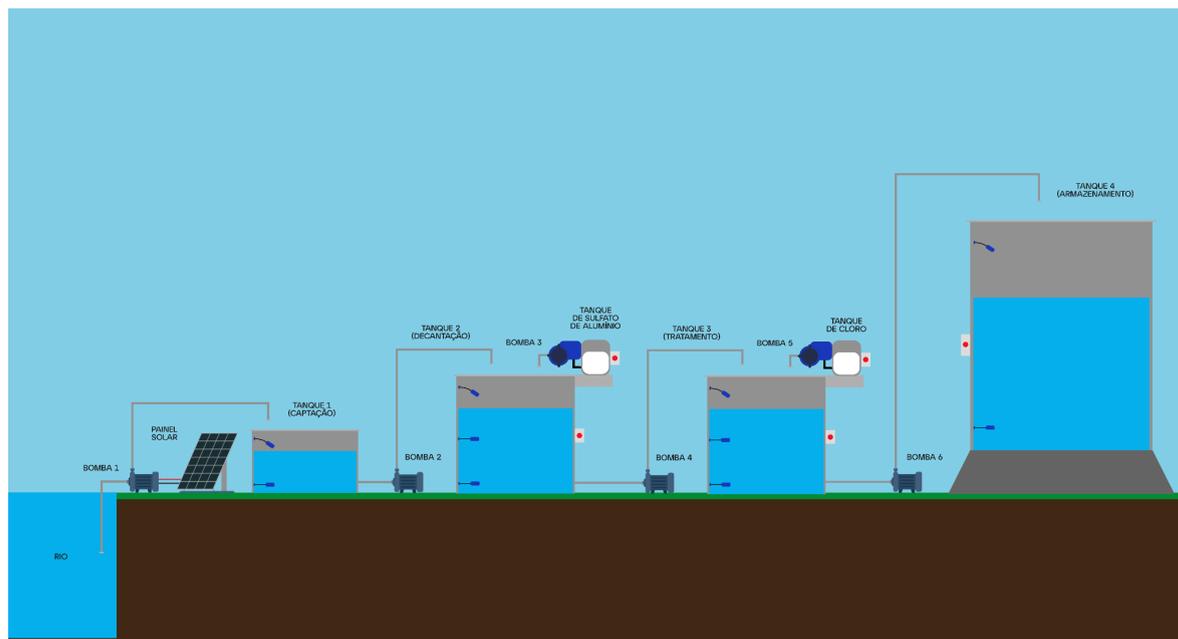
**Figura 20** - Representação em GRAFECT de uma mesma lógica em ladder.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Sistema Proposto**

A aplicação do CLP para automatizar o sistema de captação, tratamento e distribuição de água potável para o Distrito de Ipuacu, em Feira de Santana, Bahia foi avaliada por meio da elaboração do diagrama de comando em linguagem Função Bloco Lógico e utilizando ainda a simulação de pulsos nos elementos de entrada de sinais e os elementos comandados pelas saídas Q1 a Q11 do CLP Logo da Siemens.

A figura 21 apresenta um esboço do problema prático a ser atendido, sistema de captação de água, tratamento e distribuição para o distrito de Ipuacu. Na figura 21, observa-se que o tanque 1 recebe a água da captação do rio de Pedra do Cavalo, por meio de bombeamento solar. Logo após, a água é transportada para o tanque 2, no qual existe o processo de adição de sulfato de alumínio. Decorrido o tempo necessário para a decantação no tanque 2, a água seguirá para o tanque 3, onde passará pelo processo de purificação com o cloro. Tanto para a adição do sulfato de alumínio no tanque 2, quanto para a adição de cloro no tanque 3, utilizou-se uma bomba dosadora, que funciona de forma automática, evitando-se assim, a necessidade de se ter um operador na planta. Por último, a água já tratada e, portanto, potável, é reservada no tanque 4, referente ao armazenamento, onde estará pronta para ser distribuída.



**Figura 21** - Sistema de captação e distribuição de água potável.

Como a água é captada diretamente do rio, é necessário uma tela para fazer uma filtragem inicial do material em decomposição, galhos, folhas, vidas aquáticas e lixo que se encontram no rio, depois disso a água é bombeada para o tanque 1, pela bomba 1, na saída Q1.

No tanque 2, responsável pela decantação da água, é necessário a inserção do sulfato de alumínio, por meio da bomba dosadora, acionada pela saída Q3.

No tanque 3, responsável pela purificação da água, é necessário a inserção de cloro, por meio da bomba dosadora, acionada pela saída Q5.

No tanque 4, a água já tratada fica disponível para o processo de distribuição ao consumidor.

## 4.2 Características das bombas e tanques do Sistema Proposto

Anterior a preocupação de automatizar o sistema, e visando suprir as demandas oriundas da parte hidráulica do sistema proposto, estabeleceu-se alguns critérios para o seu funcionamento. Como por exemplo: o volume dos tanques, a potência das bombas, altura manométrica, vazão máxima e etc. Tais proposições encontram-se nas tabelas 3 e 4 abaixo e estão fundamentadas em pesquisas sobre sistemas de captação e tratamento de água deste porte e visita técnica ao local.

**Tabela 3** - Bombas do Sistema Proposto.

<b>BOMBAS</b>			
<b>MODELO</b>	<b>POTÊNCIA (CV)</b>	<b>ALTURA MANOMÉTRICA MÁXIMA (m.c.a)</b>	<b>VAZÃO MÁXIMA (m³/h)</b>
ME-33250 C150, da Schneider	25	105	41,1
RL-20B(F), da WEG	10	86	75,2
RL-20B(F), da WEG	10	86	75,2
BC - 23 R 11/4, da Schneider	15	62	33,1

**Tabela 4** - Tanques do Sistema Proposto.

<b>TANQUES</b>				
<b>TANQUES</b>	<b>BOMBA ESCOLHIDA</b>	<b>ALTURA MANOMÉTRICA DO TANQUE (m.c.a)</b>	<b>CAPACIDADE NOMINAL (m³)</b>	<b>TEMPO DE ENCHIMENTO</b>
Captação	ME-33250 C150, da Schneider	101	60	1h28min
Decantação	RL-20B(F), da WEG	25	60	48min
Tratamento	RL-20B(F), da WEG	25	60	48min
Armazenamento	BC - 23 R 11/4, da Schneider	60	180	1h48min

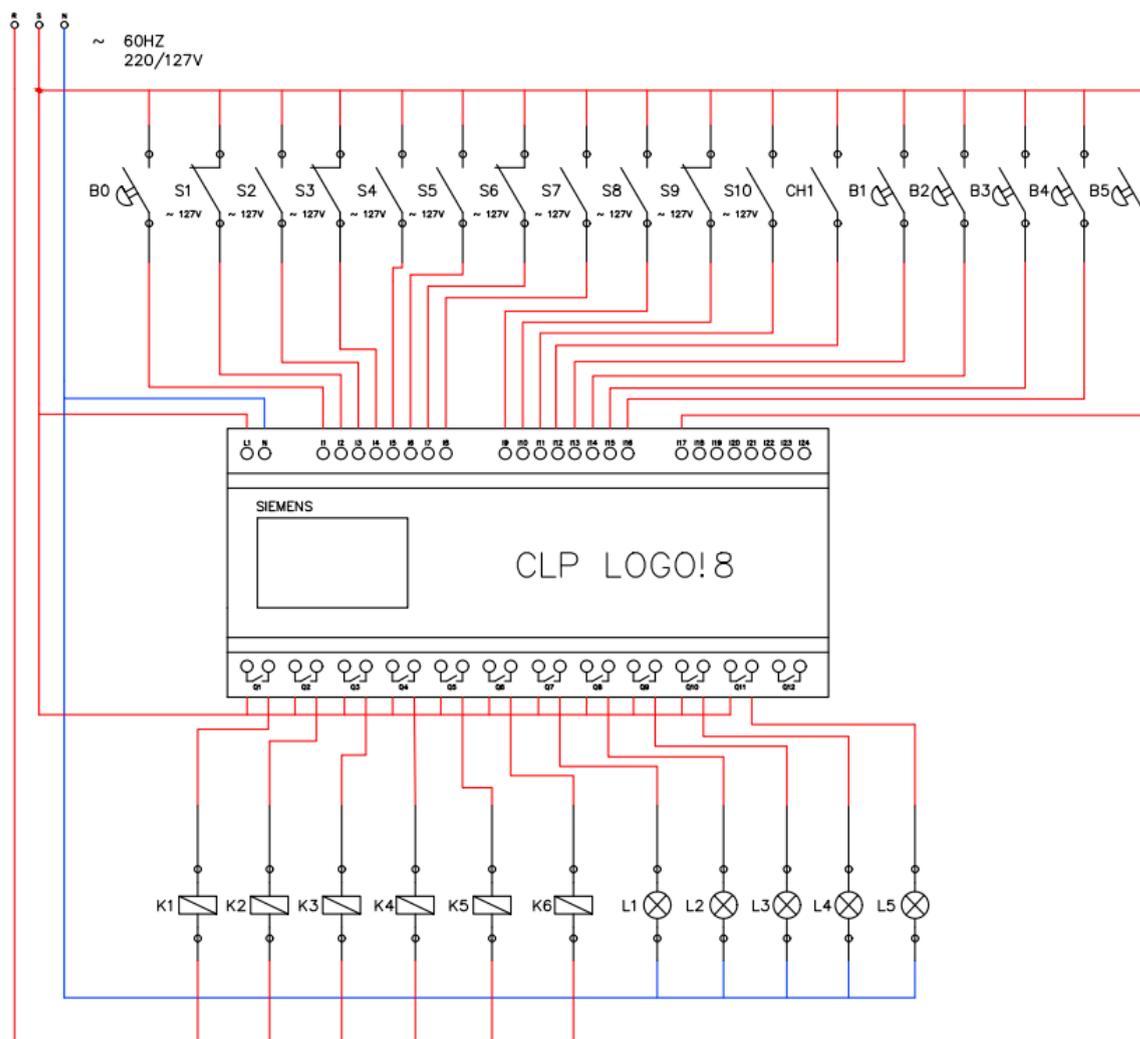
### **4.3 Diagrama Funcional Proposto para automação do Processo**

A figura 22 apresenta o diagrama funcional de ligação no CLP LOGO. A alimentação do CLP é 127V, fornecida por linha e neutro.

Na entrada do CLP, os elementos de entrada de sinal incluem chaves e sensores, dados pela chave bóia. Quando a entrada é acionada, o estado lógico correspondente é igual a 1; quando não há acionamento, o estado lógico é igual a 0.

A simulação dos estados lógicos de entrada é descrita no diagrama de solução em função bloco lógico.

Quanto às saídas, verifica-se que o fechamento dos relés ocorre quando Q assume o estado lógico igual a 1, enquanto o contato do relé permanece aberto para o estado lógico igual a 0. Nas saídas, estão instaladas bombas e sistemas de indicação luminosa.



**Figura 22 - Diagrama Funcional do Processo.**

#### 4.4 Diagrama Solução Proposto para automação do Processo

Para fazer a discussão sobre o diagrama solução proposto para automatizar o sistema foi feita a identificação dos elementos de entradas e saídas do comando, assim no quadro 03 é apresentado a descrição das saídas e no quadro 04 a identificação das entradas utilizadas.

**Tabela 5** - Identificação das saídas do CLP na programação.

<b>ELEMENTOS DE SAÍDA</b>		
<b>ELEMENTO DE SAÍDA</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO NA PROGRAMAÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO</b>
Bomba 1	Q1	Bomba da captação (alimentada por painel solar)
Bomba 2	Q2	Bomba que envia do tanque da captação para a decantação
Bomba 3	Q3	Bomba dosadora de Sulfato de Alumínio [ $Al_2(SO_4)_3$ ]
Bomba 4	Q4	Bomba que envia do tanque de decantação para o tratamento
Bomba 5	Q5	Bomba dosadora de Cloro [Cl]
Bomba 6	Q6	Bomba que envia do tanque de tratamento para o tanque de armazenamento
Indicação luminosa para Sulfato de Alumínio	Q7	Indicará quando a bomba dosadora de Sulfato de Alumínio estiver ativa
Indicação luminosa para Cloro	Q8	Indicará quando a bomba dosadora de cloro estiver ativa
Indicação Luminosa para o Tanque de Decantação	Q9	Sinalização para quando o tanque de decantação chegar a 50% da capacidade
Indicação Luminosa para o Tanque de Tratamento	Q10	Sinalização para quando o tanque de tratamento chegar a 50% da capacidade
Sinalização para o Tanque de Armazenamento vazio	Q11	Informará quando o tanque de armazenamento estiver vazio

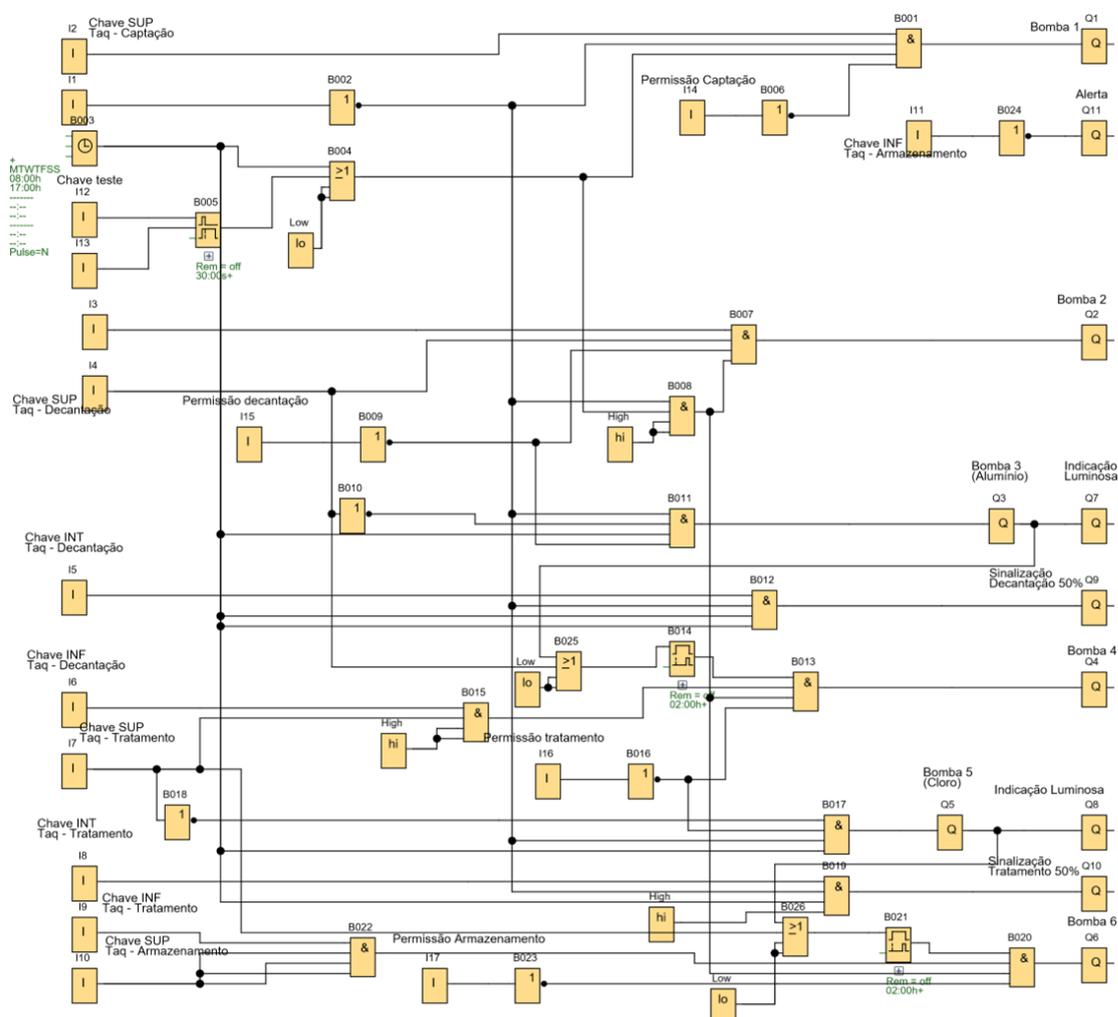
**Tabela 6 - Identificação das entradas do CLP na programação.**

<b>ELEMENTOS DE ENTRADA</b>				
<b>TIPO DO EQUIPAMENTO</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO NA PROGRAMAÇÃO</b>	<b>SINAL</b>	<b>SAÍDA QUE ESTÁ COMANDANDO E COMO A COMANDA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Botão desliga geral (processo)	I1	I1=1	Todas as saídas iguais a 0	Este botão será responsável por desligar o processo
Chave bóia superior (Tanque Captação)	I2	I2=0	Q1=0	Este sensor de nível estará no tanque da captação e indicará quando ele estiver cheio
		I2=1	-	
Chave bóia inferior (Tanque Captação)	I3	I3=1	Q2=1	Este sensor de nível estará no tanque da captação e indicará quando ele estiver vazio
		I3=0	Q2=0	
Chave bóia superior (Tanque Decantação)	I4	I4=0	Q2=0 e Q3=1	Este sensor de nível estará no tanque de decantação e indicará quando ele estiver cheio
		I4=1	Q3=0	
Chave bóia intermediária (Tanque Decantação)	I5	I5=1	Q9=1	Sinaliza quando o tanque de decantação chegar a 50% da capacidade
		I5=0	Q9=0	
Chave bóia inferior (Tanque Decantação)	I6	I6=1	Q4=1	Este sensor de nível estará no tanque de decantação e indicará quando ele estiver vazio
		I6=0	Q4=0	
Chave bóia superior (Tanque Tratamento)	I7	I7=0	Q4=0 e Q5=1	Este sensor de nível estará no tanque de tratamento e indicará quando ele estiver cheio
		I7=1	Q5=0	

Chave bóia intermediária (Tanque Tratamento)	I8	I8=1	Q10=1	Sinaliza quando o tanque de tratamento chegar a 50% da capacidade
		I8=0	Q10=0	
Chave bóia inferior (Tanque Tratamento)	I9	I9=1	Q6=1	Este sensor de nível estará no tanque de tratamento e indicará quando ele estiver vazio
		I9=0	Q6=0	
Chave bóia superior (Tanque Armazenamento)	I10	I10=0	Q6=0	Este sensor de nível estará no tanque de armazenamento e indicará quando ele estiver cheio
		I10=1	-	
Chave bóia inferior (Tanque Armazenamento)	I11	I11=1		Este sensor de nível estará no tanque de armazenamento e indicará quando ele estiver vazio
		I11=0	Q11=1	
Chave teste das bombas	I12	I12=1	Q1=1, Q2=1, Q4=1 e Q6=1	Teste das bombas por 30s
Reset da chave teste	I13	I13=1	B005=0	Este elemento de entrada atuará como elemento de segurança que, caso seja necessário, interromperá imediatamente o comando do teste
Permissão para o acionamento da bomba no Tanque de Captação	I14	I14=0	Q1=1	Em caso de manutenção no tanque da captação, teremos esta entrada funcionando como permissão da bomba referente ao tanque e, ao ser acionada, garante que a bomba que enche-o não funcionará

<p>Permissão para o acionamento das bombas Tanque de Decantação</p>	<p>I15</p>	<p>I15=0</p>	<p>Q2=1 e Q3=1</p>	<p>Em caso de manutenção no tanque de decantação, teremos esta entrada funcionando como permissão das bombas referentes ao tanque e, ao ser acionada, garante que a bomba que enche o tanque e a dosadora não funcionarão</p>
<p>Permissão para o acionamento das bombas Tanque de Tratamento</p>	<p>I16</p>	<p>I16=0</p>	<p>Q4=1 e Q5=1</p>	<p>Em caso de manutenção no tanque de tratamento, teremos esta entrada funcionando como permissão das bombas referentes ao tanque e, ao ser acionada, garante que a bomba que enche o tanque e a dosadora não funcionarão</p>
<p>Permissão para o acionamento da bomba no Tanque de Armazenamento</p>	<p>I17</p>	<p>I17=0</p>	<p>Q6=1</p>	<p>Em caso de manutenção no tanque de armazenamento, teremos esta entrada funcionando como permissão da bomba referente ao tanque e, ao ser acionada, garante que a bomba que enche-o não funcionará</p>

O diagrama apresentado na figura 23 é a solução, na área da elétrica, por meio da automação por CLP, para realizar o comando do sistema.



**Figura 23** - Diagrama solução em linguagem Função Bloco Lógico.

#### 4.4.1 Análise para a saída Q1 do Diagrama Solução

Na saída Q1 foi programada a bomba responsável pelo enchimento do tanque de captação da água (Tanque 1). Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a bomba seja acionada quando houver uma permissão para o acionamento de Q1. Por isso, foi inserida a função And; o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada I14 (Botão responsável pela permissão do acionamento da bomba no tanque da captação). Quando I14 assume estado lógico igual a zero, é possível realizar o bombeamento desde que as demais condições sejam atendidas. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I14

assuma estado lógico igual a 1, a saída do bloco B006 será igual a zero e, assim, na saída do bloco B001, obtém-se estado lógico zero, ou seja, bomba desligada. A necessidade dessa lógica é para que, em caso de manutenção no Tanque 1, o sistema de bombeamento seja desligado e só poderá funcionar com a permissão dada pela chave I14.

Foi inserida na programação a chave I1 para realizar a lógica de botão desliga. Ou seja, quando I1 é igual a 1, a saída do bloco B002 é zero e a saída Q1 assume estado lógico igual a zero ( $Q1=0$ ), não ocorrendo o bombeamento.

Para o acionamento da saída Q1, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a chave sensor de nível, boia superior, entrada I2, tenha estado lógico igual a 1, o que indica a necessidade de ligar a bomba para encher o Tanque 1; a chave I1 deve ser igual a 0, o que representa o botão desliga não acionado; a saída de B006 deve ser igual a estado lógico 1, assim, a entrada I14 deve ser igual a 0 (permissão); e saída de B004 igual a estado lógico 1.

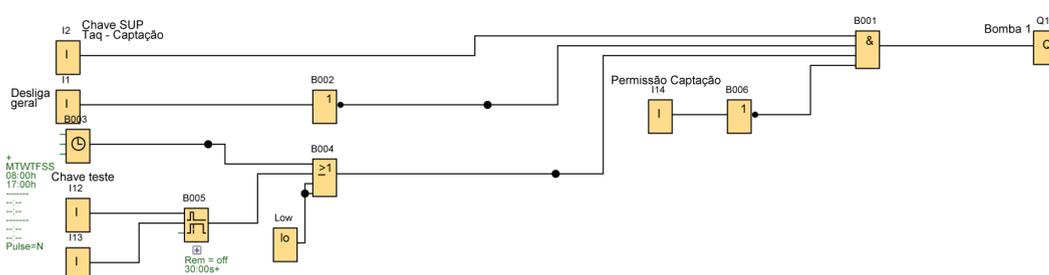
A saída de B004 assume estado lógico igual a 1 quando a saída de B003 ou saída de B005, pelo menos uma delas, for igual a 1, pois se trata da lógica OR.

Em B003, foi utilizada a função Relógio de Tempo Real, inserindo no comando uma condição de temporização para evitar o bombeamento em horário de pico de consumo de energia elétrica (quando há, por parte da concessionária de energia, uma cobrança maior quanto ao uso de energia) ou, até mesmo se fazer o bombeamento durante a noite. Optou-se por não realizar o bombeamento no período temporal entre às 17:00 e às 08:00 horas, pois, em caso de defeito técnico nos equipamentos, evitam-se vazamentos, tendo em vista que não há equipe de manutenção noturna. Essa função B003 tem como comportamento fazer a saída do bloco igual ao estado lógico 1 dentro do dia e horário programado (ON...OFF), e fora do horário programado, a saída do bloco é igual ao estado lógico zero.

Em B004, função OR, além da condição temporal dada por B003, foi instalado um comando para testagem da bomba instalada na saída Q1. Caso a equipe de manutenção deseje verificar se a bomba está em condição de funcionamento, independente das demais lógicas, é possível fazer o acionamento por meio da chave I12, no bloco B006, da função off delay. Considerando que I12 é uma chave de impulso, se optou por fazer a testagem por 30 segundos, mas esse tempo pode ser alterado, caso haja necessidade. Foi colocado no reset do bloco B006 a chave I13 que pode interromper a testagem em qualquer momento; basta fazer I13 igual ao estado lógico 1 para que a saída de B006 assumira estado lógico zero. Em B004,

foram adicionadas as entradas Lo para fechar a programação; como a entrada (Lo) é igual a 0, serve como elemento neutro, que não determina a saída do bloco.

A saída do bloco relógio de tempo real traz contribuição na lógica das saídas Q3, Q5, Q7, Q8, Q9 e Q10. Isso se deve ao fato de ter colocado a condição de temporização para os comandos das bombas e suas indicações luminosas com relação ao funcionamento do elemento. De forma análoga se observa a influência na lógica de programação nas saídas de B002 e B004 com relação às outras saídas, tais como: Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9 e Q10.



**Figura 24** - Diagrama ampliado para análise da saída Q1.

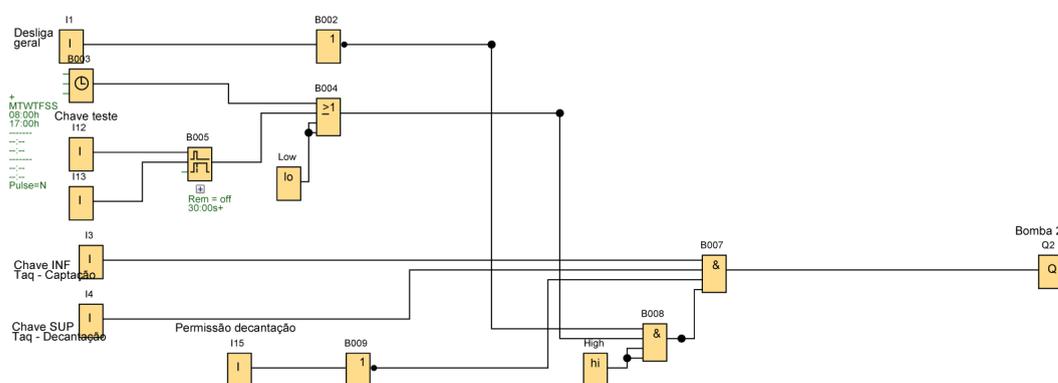
#### 4.4.2 Análise para a saída Q2 do Diagrama Solução

Na saída Q2 foi programada a bomba responsável pelo enchimento do tanque de decantação da água (Tanque 2). Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a bomba seja acionada quando houver uma permissão para o acionamento de Q2. Por isso, foi inserida a função And (B007); o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada I15. Quando I15 assume estado lógico igual a zero, é possível realizar o bombeamento desde que as demais condições sejam atendidas. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I15 assumira estado lógico igual a 1, a saída do bloco B009 será igual a zero e, assim, na saída do bloco B007, obtém-se estado lógico zero, ou seja, bomba desligada. A necessidade dessa lógica é para que, em caso de manutenção no Tanque 2, o sistema de bombeamento seja desligado e só poderá funcionar com a permissão dada pela chave I15.

A fim de garantir que a saída de Q2 também tivesse sua lógica dependente do botão desliga, representado pela saída de B002; da chave teste e do relógio de tempo real, representados pela saída de B004, estas foram adicionadas como entradas do bloco B008. Desta forma, quando a saída de B002 e a saída de B004 assumirem simultaneamente o estado

lógico igual a 1, B008 também assumirá o estado lógico 1. Além disso, em B008, foram adicionadas as entradas Hi para fechar a programação; como a entrada (Hi) é igual a 1, serve como elemento neutro, que não determina a saída do bloco. A saída de B008 também será elemento de entrada de B007.

Para o acionamento da saída Q2, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a chave sensor de nível, boia inferior, entrada I3, tenha estado lógico igual a 1, o que indica a necessidade de ligar a bomba para transferir a água do Tanque 1 para o Tanque 2; a chave sensor de nível, boia superior, entrada I4, tenha estado lógico igual a 1, o que indica a necessidade de ligar a bomba para encher o Tanque 2; a saída de B009 deve ser igual a estado lógico 1, assim, a entrada I15 deve ser igual a 0 (permissão); e saída de B008 igual a estado lógico 1.



**Figura 25** - Diagrama ampliado para análise da saída Q2.

#### 4.4.3 Análise para a saída Q3 do Diagrama Solução

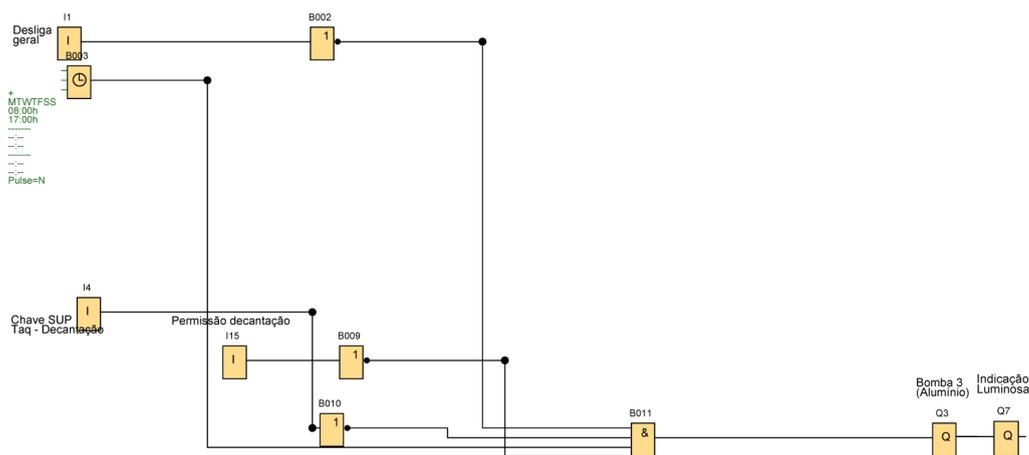
Na saída Q3 foi programada a bomba dosadora responsável por adicionar Sulfato de Alumínio no tanque de decantação da água (Tanque 2). Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a bomba dosadora seja acionada quando houver uma permissão para o acionamento de Q3. Por isso, foi inserida a função And (B011); o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada B009. Quando I15 assume estado lógico igual a zero, a saída de B009 assume estado lógico igual a 1, assim, é possível realizar injeção da solução de Sulfato de Alumínio, desde que as demais condições sejam atendidas. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I15 assumira estado lógico igual a 1, a saída do bloco B009 será igual a zero e, assim, na saída do bloco B011, obtém-se também estado lógico zero, ou seja, bomba desligada. A necessidade dessa lógica é para que, em caso de

manutenção no Tanque 2, a injeção de sulfato de alumínio seja desabilitada e só poderá funcionar com a permissão dada pela chave I15.

A fim de garantir que a saída de Q3 também tivesse sua lógica dependente do botão desliga, representado pela saída de B002 e do relógio de tempo real, representado pela saída de B003, estas foram adicionadas como entradas do bloco B011. Desta forma, quando a saída de B002 e a saída de B003 assumirem simultaneamente o estado lógico igual a 1, B011 também assumirá o estado lógico 1, desde que as demais condições sejam atendidas.

Quando o elemento de entrada de sinal I4, chave sensor de nível, boia superior, assumir o estado lógico igual a 0 indicará o enchimento completo do tanque 2. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I4 assuma estado lógico igual a 0, a saída do bloco B010 será igual a um e, assim, na saída do bloco B011, atendendo-se às demais condições de entrada do bloco, obtém-se também estado lógico igual a um, portanto, a bomba dosadora poderá atuar.

Por fim, para o acionamento da saída Q3, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a chave sensor de nível, boia superior, entrada I4, tenha estado lógico igual a 0, indicando, assim, que o tanque 2 está completamente cheio e é possível fazer o acionamento da bomba dosadora que injetará a solução de sulfato de alumínio; a saída de B009 deve ser igual a estado lógico 1, assim, a entrada I15 deve ser igual a 0 (permissão); a saída de B002 igual a estado lógico 1; e a saída de B003 também igual ao estado lógico 1.



**Figura 26** - Diagrama ampliado para análise das saídas Q3 e Q7.

#### 4.4.4 Análise para a saída Q7 do Diagrama Solução

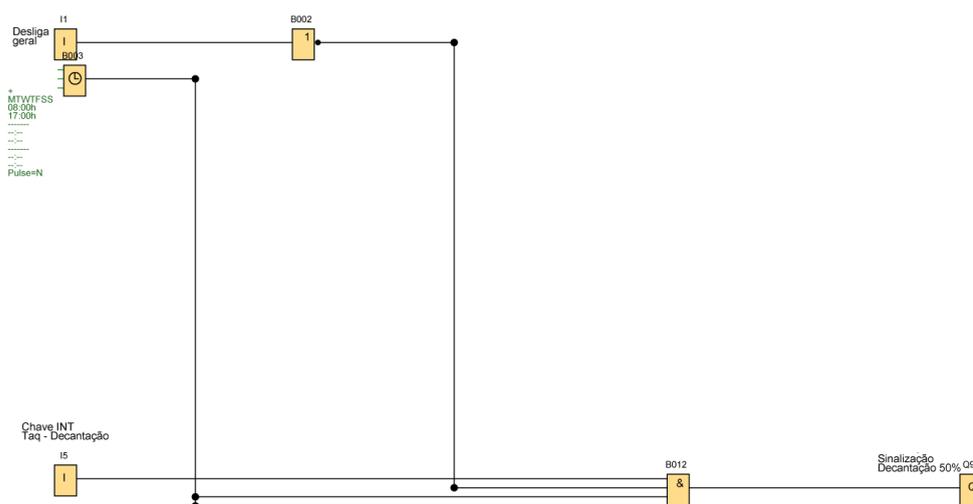
Na saída Q7 foi programada uma indicação luminosa responsável por alertar quando a bomba dosadora Q3 estiver ativa no tanque de decantação da água (Tanque 2). Assim sendo, Q7 assume estado lógico igual a 1 quando a saída de Q3 assume estado lógico igual a 1.

#### 4.4.5 Análise para a saída Q9 do Diagrama Solução

Na saída Q9 foi programada uma sinalização de que o tanque de decantação (Tanque 2) está em 50% de sua capacidade. Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a sinalização seja habilitada quando houver entrada de sinal para o acionamento de Q9. Por isso, foi inserida a função And (B012); o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada I5, a chave sensor de nível, boia intermediária. Quando I5 assume estado lógico igual a 1, a saída de B012 assume estado lógico igual a 1, assim, é possível realizar a sinalização, desde que as demais condições sejam atendidas.

Com o intuito de garantir que a saída de Q9 também tivesse sua lógica dependente do botão desliga, representado pela saída de B002 e do relógio de tempo real, representado pela saída de B003, estas foram adicionadas como entradas do bloco B012. Desta forma, quando a saída de B002 e a saída de B003 assumirem simultaneamente o estado lógico igual a 1, B012 também assumirá o estado lógico 1, desde que as demais condições sejam atendidas.

Portanto, para o acionamento da saída Q9, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a chave sensor de nível, boia intermediária, entrada I5, tenha estado lógico igual a 1, indicando, assim, que o tanque 2 está com a metade de sua capacidade, de modo que deseja-se fazer o acionamento da sinalização correspondente; a saída de B002 igual a estado lógico 1; e a saída de B003 também igual ao estado lógico 1.



**Figura 27** - Diagrama ampliado para análise da saída Q9.

#### 4.4.6 Análise para a saída Q4 do Diagrama Solução

Na saída Q4 foi programada a bomba responsável pelo enchimento do tanque de tratamento da água (Tanque 3). Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a bomba seja acionada quando houver uma permissão para o acionamento de Q4. Por isso, foi inserida a função And (B013); o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada I16. Quando I16 assume estado lógico igual a zero, é possível realizar o bombeamento desde que as demais condições sejam atendidas. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I16 assuma estado lógico igual a 1, a saída do bloco B016 será igual a zero e, assim, na saída do bloco B013, obtém-se estado lógico zero, ou seja, bomba desligada. A necessidade dessa lógica é para que, em caso de manutenção no Tanque 3, o sistema de bombeamento seja desligado e só poderá funcionar com a permissão dada pela chave I16.

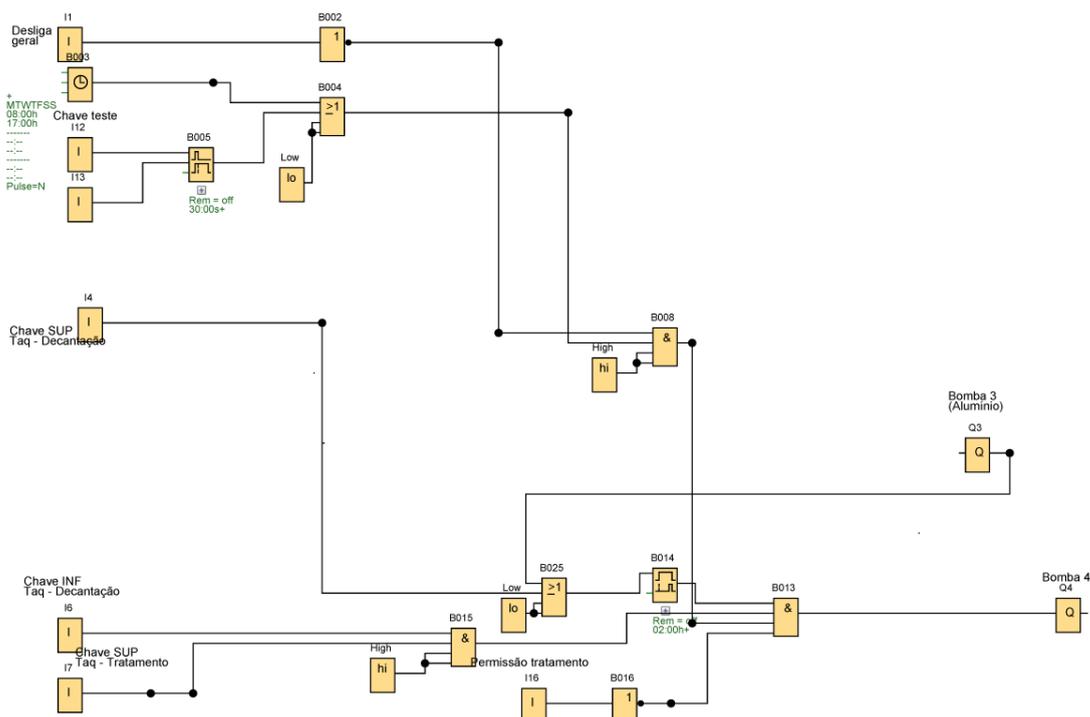
Também associado à entrada de B013, está outra função And (B015), cujos elementos de entrada de sinal estabelecidos são: a entrada I6 referente a chave sensor de nível, boia inferior do tanque de decantação que ao assumir o estado lógico igual a 1, indicará a necessidade de ligar a bomba para transferir a água do Tanque 2 para o Tanque 3; e entrada I7 referente a chave sensor de nível, boia superior, que ao assumir o estado lógico igual a 1, também indicará a necessidade de ligar a bomba para o enchimento do tanque 3. No entanto, há de se observar a necessidade de que ambas as entradas assumam simultaneamente o estado lógico um para que a saída de B015 também assumam este estado lógico.

Considerando o tempo necessário para que ocorra a decantação descrita no processo anterior, utilizou-se como outro elemento entrada de B013, o bloco B014, correspondente à função on delay. O acionamento de B014 acontece quando há um disparo em sua entrada (Trg). Como elemento de entrada foi inserida a função OR (B025), já que seria necessário um selo no acionamento de B014. Sendo assim, temos a saída de Q3 e I4 ligados à entrada de B025. Desta forma, quando  $Q3=1$  (bomba dosadora ligada) ou  $I4=1$  (Chave sensor de nível, boia, superior do tanque de decantação) ou Q3 e I4 assumirem o estado lógico igual a um, a saída de B025 também será igual a um. Além disso, foram adicionadas as entradas Lo para fechar a programação; como a entrada (Lo) é igual a 0, serve como elemento neutro, já que não determina a saída do bloco.

Portanto, quando B025 assume estado lógico 1 começará a contabilizar, a partir deste momento, o tempo de 2 horas para que ocorra a decantação. Decorrido o tempo programado, a saída de B014 assume o estado lógico igual a um, levando a bomba Q4 também para o estado lógico 1, desde que sejam atendidas as demais condições. Optou-se pelo tempo de 2 horas porque ele corresponde à estimativa do tempo de enchimento do tanque de armazenamento (conclusão do processo).

A fim de garantir que a saída de Q4 também tivesse sua lógica dependente do botão desliga, representado pela saída de B002; da chave teste e do relógio de tempo real, representados pela saída de B004, estas foram adicionadas como entradas do bloco B008. Desta forma, quando a saída de B002 e a saída de B004 assumirem simultaneamente o estado lógico igual a 1, B008 também assumirá o estado lógico 1. Além disso, em B008, foram adicionadas as entradas Hi para fechar a programação; como a entrada (Hi) é igual a 1, serve como elemento neutro, que não determina a saída do bloco. A saída de B008 também será elemento de entrada de B013, garantindo assim que a saída Q4 esteja dependente das lógicas supracitadas.

Para o acionamento da saída Q4, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a saída de B014 deve ser igual a estado lógico 1; saída de B015 igual a estado lógico 1, assim, as entradas I6 e I7 devem ser igual a 1; e a saída de B016 deve ser igual a estado lógico 1, assim, a entrada I16 deve ser igual a 0 (permissão).



**Figura 28** - Diagrama ampliado para análise da saída Q4.

#### 4.4.7 Análise para a saída Q5 do Diagrama Solução

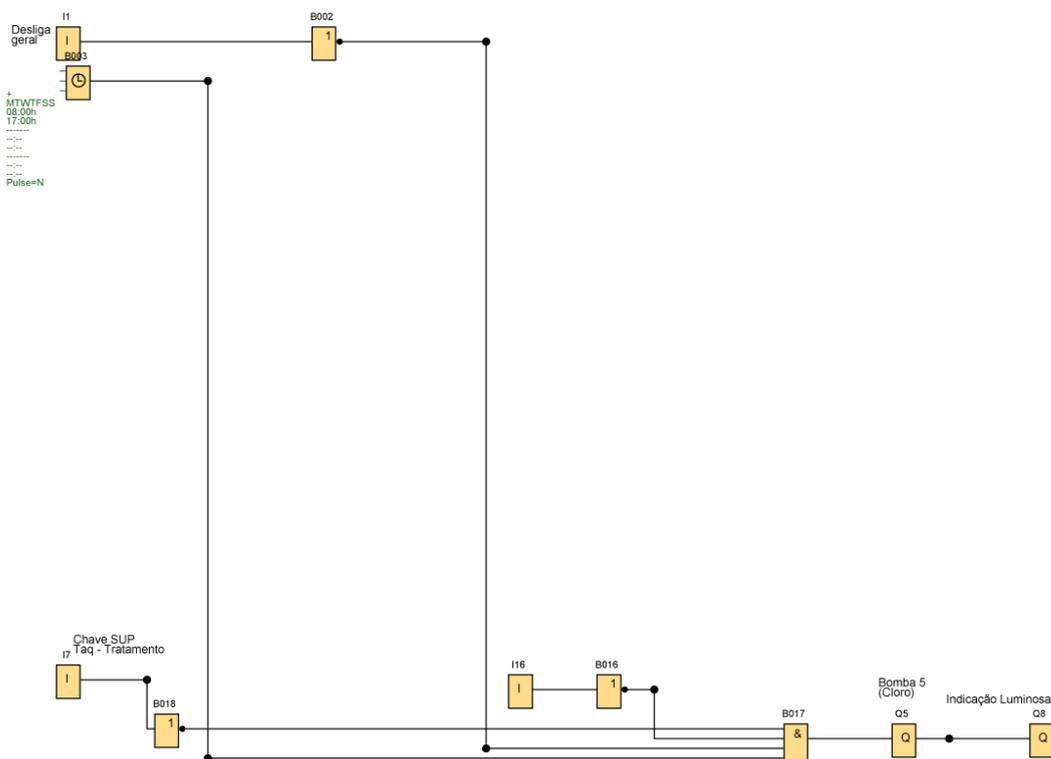
Na saída Q5 foi programada a bomba dosadora responsável por adicionar cloro no tanque de tratamento da água (Tanque 3). Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a bomba dosadora seja acionada quando houver uma permissão para o acionamento de Q5. Por isso, foi inserida a função And (B017); o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada B016. Quando I16 assume estado lógico igual a zero, a saída de B016 assume estado lógico igual a 1, assim, é possível realizar o bombeamento, desde que as demais condições sejam atendidas. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I16 assumira estado lógico igual a 1, a saída do bloco B016 será igual a zero e, assim, na saída do bloco B017, obtém-se também estado lógico zero, ou seja, bomba desligada. A necessidade dessa lógica é para que, em caso de manutenção no Tanque 3, a injeção de cloro seja desabilitada e só poderá funcionar com a permissão dada pela chave I16.

A fim de garantir que a saída de Q5 também tivesse sua lógica dependente do botão desliga, representado pela saída de B002 e do relógio de tempo real, representado pela saída de B003, estas foram adicionadas como entradas do bloco B017. Desta forma, quando a saída

de B002 e a saída de B003 assumirem simultaneamente o estado lógico igual a 1, B017 também assumirá o estado lógico 1, desde que as demais condições sejam atendidas.

Quando o elemento de entrada de sinal I7, chave sensor de nível, boia superior, assumir o estado lógico igual a 0 indicará o enchimento completo do tanque 3. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I7 assuma estado lógico igual a 0, a saída do bloco B018 será igual a 1 e, assim, na saída do bloco B017, atendendo-se às demais condições de entrada do bloco, obtém-se também estado lógico igual a 1, portanto, a bomba dosadora poderá atuar.

Por fim, para o acionamento da saída Q5, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a chave sensor de nível, boia superior, entrada I7, tenha estado lógico igual a 0, indicando, assim, que o tanque 3 está completamente cheio e é possível fazer o acionamento da bomba dosadora que injetará a solução de cloro; a saída de B016 deve ser igual a estado lógico 1, assim, a entrada I16 deve ser igual a 0 (permissão); a saída de B002 igual a estado lógico 1; e a saída de B003 também igual ao estado lógico 1.



**Figura 29** - Diagrama ampliado para análise das saídas Q5 e Q8.

#### 4.4.8 Análise para a saída Q8 do Diagrama Solução

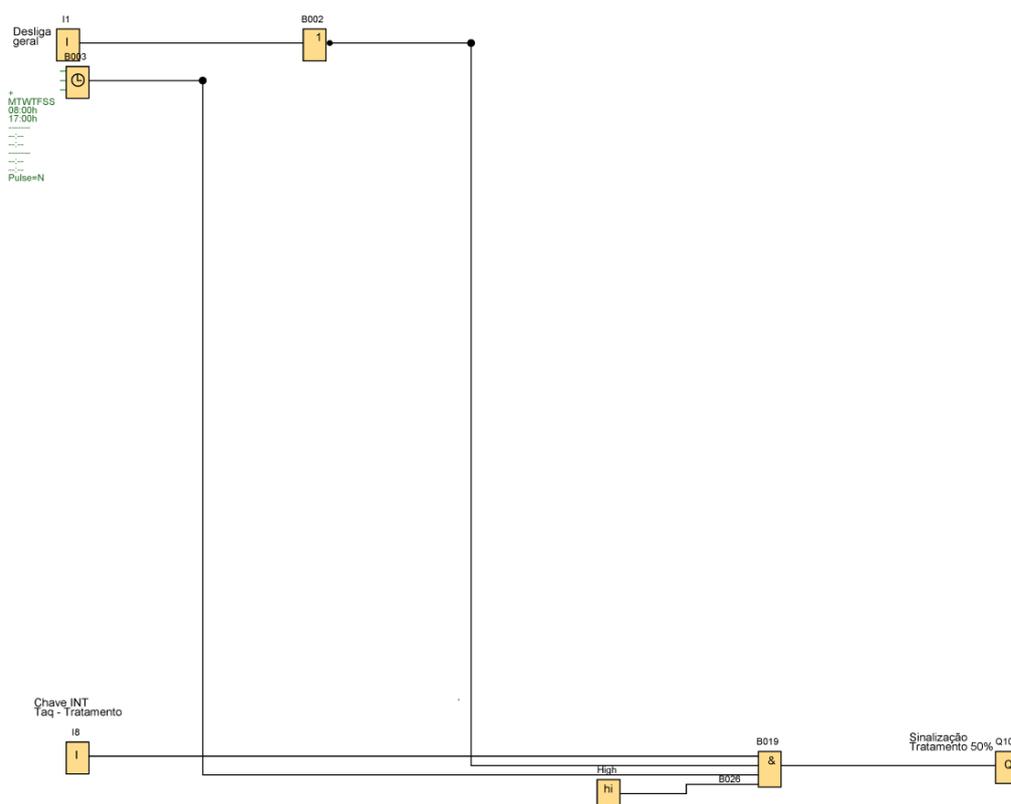
Na saída Q8 foi programada uma indicação luminosa responsável por alertar quando a bomba dosadora Q5 estiver ativa no tanque de tratamento da água (Tanque 3). Assim sendo, Q8 assume estado lógico igual a 1 quando a saída de Q5 assume estado lógico igual a 1.

#### 4.4.9 Análise para a saída Q10 do Diagrama Solução

Na saída Q10 foi programada uma sinalização de que o tanque de tratamento (Tanque 3) está em 50% de sua capacidade. Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a sinalização seja habilitada quando houver entrada de sinal para o acionamento de Q10. Por isso, foi inserida a função And (B019); o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada I8, a chave sensor de nível, boia intermediária. Quando I8 assume estado lógico igual a 1, a saída de B019 assume estado lógico igual a 1, assim, é possível realizar a sinalização, desde que as demais condições sejam atendidas.

Com o intuito de garantir que a saída de Q10 também tivesse sua lógica dependente do botão desliga, representado pela saída de B002 e do relógio de tempo real, representado pela saída de B003, estas foram adicionadas como entradas do bloco B019. Desta forma, quando a saída de B002 e a saída de B003 assumirem simultaneamente o estado lógico igual a 1, B019 também assumirá o estado lógico 1, desde que as demais condições sejam atendidas. Além disso, em B019, foi adicionado a entrada Hi para fechar a programação; como a entrada (Hi) é igual a 1, serve como elemento neutro, que não determina a saída do bloco.

Portanto, para o acionamento da saída Q10, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a chave sensor de nível, boia intermediária, entrada I8, tenha estado lógico igual a 1, indicando, assim, que o tanque 3 está com a metade de sua capacidade, de modo que deseja-se fazer o acionamento da sinalização correspondente; a saída de B002 igual a estado lógico 1; e a saída de B003 também igual ao estado lógico 1.



**Figura 30** - Diagrama ampliado para análise da saída Q10.

#### 4.4.10 Análise para a saída Q6 do Diagrama Solução

Na saída Q6 foi programada a bomba responsável pelo enchimento do tanque de armazenamento da água (Tanque 4). Nas condições de comandos estabelecidas, é necessário que a bomba seja acionada quando houver uma permissão para o acionamento de Q6. Por isso, foi inserida a função And (B020); o elemento de entrada de sinal foi estabelecido pela entrada I17. Quando I17 assume estado lógico igual a zero, é possível realizar o bombeamento desde que as demais condições sejam atendidas. Foi utilizada a lógica negativa na programação, pois, caso I17 assumira estado lógico igual a 1, a saída do bloco B023 será igual a zero e, assim, na saída do bloco B020, obtém-se estado lógico zero, ou seja, bomba desligada. A necessidade dessa lógica é para que, em caso de manutenção no Tanque 4, o sistema de bombeamento seja desligado e só poderá funcionar com a permissão dada pela chave I17.

Também associado à entrada de B020, está outra função And (B022), cujos elementos de entrada de sinal estabelecidos são: a entrada I9 referente a chave sensor de nível, boia inferior do tanque de tratamento, que ao assumir o estado lógico igual a 1, indicará a

necessidade de ligar a bomba para transferir a água do Tanque 3 para o Tanque 4; e entrada I10 referente a chave sensor de nível, boia superior do tanque de armazenamento, que ao assumir o estado lógico igual a 1, também indicará a necessidade de ligar a bomba para o enchimento do tanque 4. No entanto, há de se observar a necessidade de que ambas as entradas assumam simultaneamente o estado lógico um para que a saída de B022 também assuma este estado lógico.

Considerando o tempo necessário para que ocorra a decantação descrita no processo anterior, utilizou-se como outro elemento entrada de B020, o bloco B021, correspondente à função on delay. O acionamento de B021 acontece quando há um disparo em sua entrada (Trg). Como elemento de entrada foi inserida a função OR (B026), já que seria necessário um selo no acionamento de B021. Sendo assim, temos a saída de Q5 e I7 ligados à entrada de B026. Desta forma, quando  $Q5=1$  (bomba dosadora ligada) ou  $I7=1$  (Chave sensor de nível, boia, superior do tanque de tratamento) ou  $Q5$  e  $I7$  assumirem o estado lógico igual a um, a saída de B026 também será igual a um. Além disso, foram adicionadas as entradas Lo para fechar a programação; como a entrada (Lo) é igual a 0, serve como elemento neutro, já que não determina a saída do bloco.

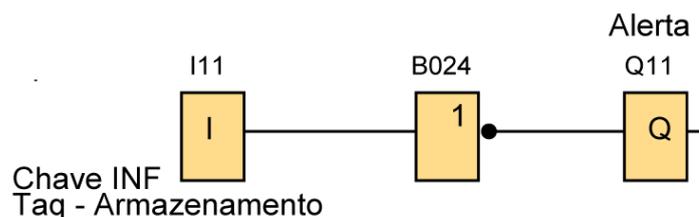
Portanto, quando B026 assume estado lógico 1 começará a contabilizar, a partir deste momento, o tempo de 2 horas para que ocorra o tratamento. Decorrido o tempo programado, a saída de B021 assume o estado lógico igual a um, levando a bomba Q6 também para o estado lógico 1, desde que sejam atendidas as demais condições. Optou-se pelo tempo de 2 horas porque ele corresponde à estimativa do tempo de enchimento do tanque de armazenamento (conclusão do processo).

A fim de garantir que a saída de Q6 também tivesse sua lógica dependente do botão desliga, representado pela saída de B002; da chave teste e do relógio de tempo real, representados pela saída de B004, estas foram adicionadas como entradas do bloco B008. Desta forma, quando a saída de B002 e a saída de B004 assumirem simultaneamente o estado lógico igual a 1, B008 também assumirá o estado lógico 1. Além disso, em B008, foram adicionadas as entradas Hi para fechar a programação; como a entrada (Hi) é igual a 1, serve como elemento neutro, que não determina a saída do bloco. A saída de B008 também será elemento de entrada de B020, garantindo assim que a saída Q6 esteja dependente das lógicas supracitadas.

Para o acionamento da saída Q6, é necessário que as seguintes condições sejam atendidas simultaneamente: a saída de B021 deve ser igual a estado lógico 1; saída de B022



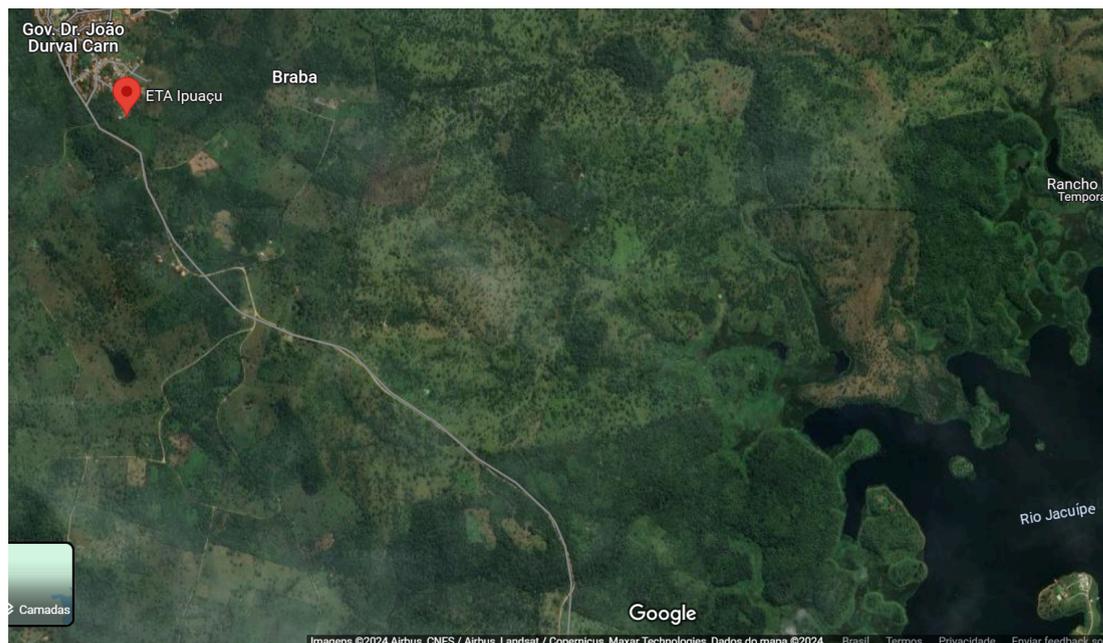
Portanto, para o acionamento da saída Q11, é necessário que a seguinte condição seja atendida: a chave sensor de nível, boia inferior, entrada I11, tenha estado lógico igual a 0, indicando, assim, que o tanque 4 está com o nível dentro da referência de água tratada armazenada, de modo que deseja-se fazer o acionamento da sinalização correspondente (Q11).



**Figura 32** - Diagrama ampliado para análise da saída Q11.

#### 4.5 Bombeamento Solar na Captação

A figura 33 abaixo mostra o mapa da região e evidencia como o sistema de captação de água encontra-se distante da Estação de Tratamento de Água (ETA), e por se tratar de uma área rural, torna-se trabalhoso levar a alimentação regular da Concessionária de Energia Elétrica local para o sistema de captação. Assim, pensou-se em alimentar a bomba da captação de água com o bombeamento solar.



**Figura 33** - Mapa da região.

#### 4.5.1 Dimensionamento do Painei Fotovoltaico

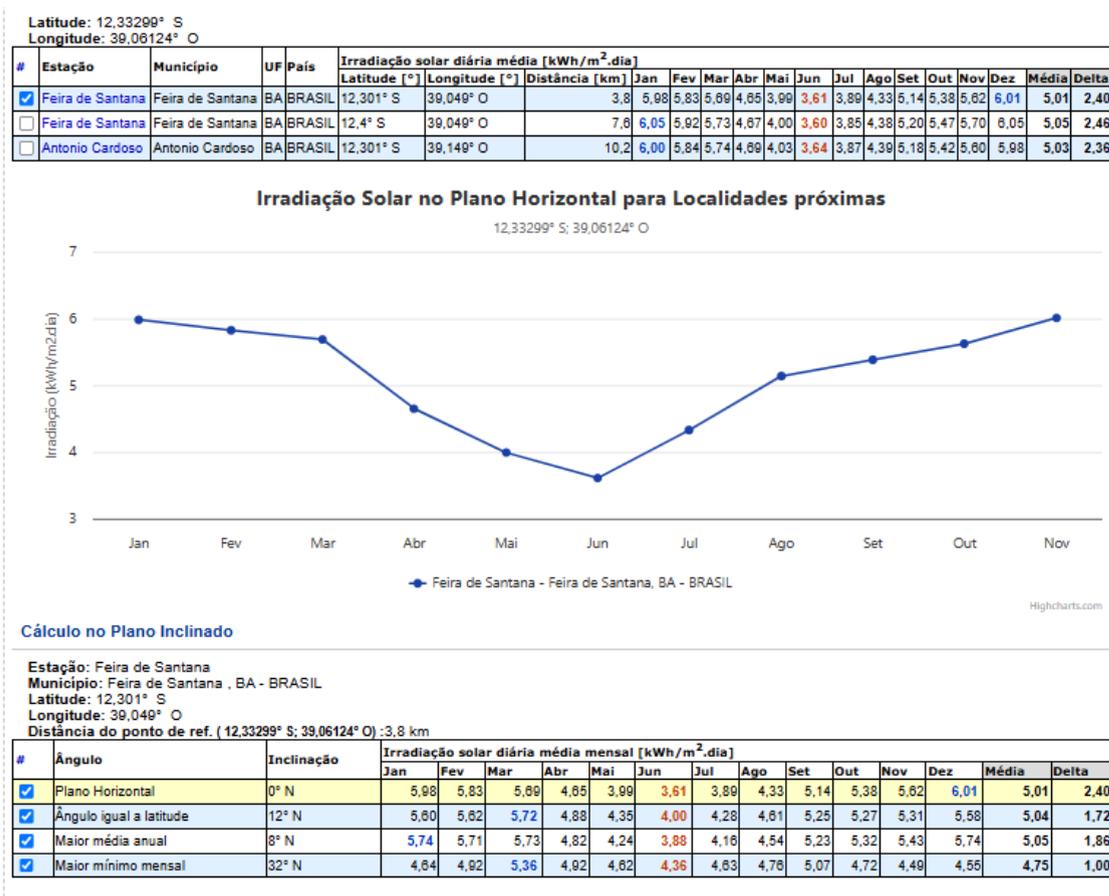
O dimensionamento seguiu as recomendações do CRESESB e as normas técnicas vigentes. A motobomba em questão é trifásica 220/127 V com uma potência mecânica ( $P_m$ ) de 25 CV =  $25 \cdot 736 W = 18,4 kW$ . Considerando um rendimento ( $\eta$ ) de 85%, sabemos que a potência exigida da rede será:

$$P_e = \frac{P_m}{\eta} = \frac{18,4 \cdot 10^3}{0,85} = 21,65 kW$$

Em primeiro lugar, realizou-se uma estimativa do consumo médio diário da captação. Como o sistema funcionará no período entre 08h e 17h, contabiliza-se 9 horas de funcionamento do sistema. Contudo, como a bomba da captação leva 1h28min para encher o tanque da captação, considerando as características hidráulicas do sistema supracitado, e ainda, permanece parada durante 2 horas enquanto a água decanta no tanque de decantação. Ou seja, ela só será acionada 2 vezes ao dia, aproximadamente a cada 3,5h, e por um período de aproximadamente 1,5h cada. Portanto, o cálculo do consumo diário é dado abaixo:

$$E_{diário} = P_{e_{instantânea}} \cdot t_{consumo} \rightarrow E_{diário} = 21,65 kW \cdot 3 h \approx 65 kWh$$

Logo após, determinamos o índice solarimétrico local no SunData, como mostra a figura 34.



**Figura 34-** Determinação do índice solarimétrico local de Ipuacu - Bahia.

Considerando o ângulo igual a latitude, temos que a média do índice solarimétrico diário da região equivale a  $5,04 \frac{kWh}{m^2 \cdot dia}$ . A potência dos painéis solares é dada por:

$$P_{painel} = \frac{E_{diário}}{i_s} = \frac{65 \cdot 10^3}{5,04} \approx 13.000 Wh$$

Como os painéis fotovoltaicos são especificados em Wh, recomenda-se utilizar a potência exigida dos painéis em conformidade com esta especificação. Considerando ainda que a eficiência do sistema equivale a 83%, conforme recomendação dos fabricantes, temos:

$$P_{painel\ corrigida} = \frac{P_{painel}}{0,83} \rightarrow$$

$$P_{\text{painel corrigida}} = \frac{13.000}{0,83} \rightarrow PP_{\text{corrigida}} \approx 15.662 \text{ Wh}$$

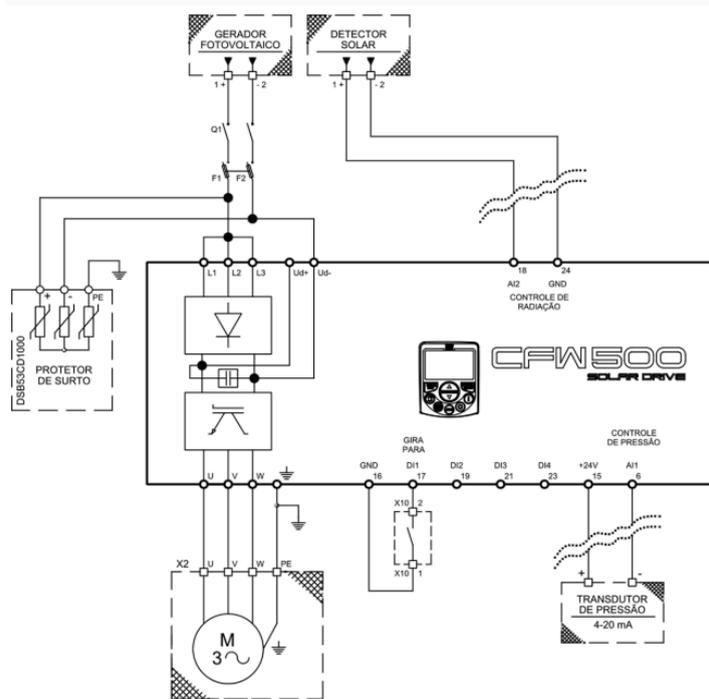
Durante pesquisas, encontrou-se um painel da NeoSolar cuja potência é de 585 Wh. Logo, o número de painéis necessários para suprir a demanda da captação é dado por:

$$N^{\circ}_{\text{painéis}} = \frac{PP_{\text{corrigida}}}{P_{\text{painel}}} = \frac{15.662}{585} = 26,77 \text{ painéis} \rightarrow N^{\circ}_{\text{painéis}} = 27 \text{ painéis.}$$

Por fim, como os painéis geram energia elétrica em corrente contínua e a bomba da captação necessita ser alimentada por um sistema trifásico de corrente alternada, faz-se necessário o estudo e dimensionamento de um inversor de frequência cujas características sejam capazes de atender a este caso. Logo, concluiu-se que o Inversor de Frequência CFW500, Trifásico, 56 A, 220V, 25 cv - Mecânica E, da fabricante Weg, atende ao caso específico.



**Figura 35** - Exemplo do inversor de frequência utilizado.



**Figura 36** - Esquema de ligação do sistema fotovoltaico de bombeamento solar para o CFW500, mecânica-E.

## 5 CONCLUSÕES

- A automação do processo por meio do CLP LOGO! 8, mostrou-se viável para o comando elétrico do sistema, pois permite a programação de intertravamentos, lógicas temporizadas e estabelecimento de condições de precedência de sinal no comando.
- O CLP escolhido permitiu a simulação das variáveis de processo por meio de programa específico, possibilitando o acompanhamento da eficiência do sistema e promovendo alterações nas variáveis de entrada sem comprometer a lógica de comando.
- O diagrama de bloco lógico para o comando atendeu a ordem de precedência das funções no diagrama solução. Por substituir muitas linhas do ladder em uma única função, trouxe mais vantagens na execução da programação em comparação com o Ladder.
- No diagrama os elementos sensores e bombas se mostraram adequadas para a aplicação da automação dentro do sistema proposto.
- O estudo acerca dos elementos pertencentes ao comando elétrico do sistema, mostrou que é possível fazê-lo através de chave boia, sensores e botões de botoeiras.
- O comando elétrico estabelecido para as bombas dosadoras se mostrou eficiente para atender a necessidade de adição sulfato de alumínio e cloro no processo de tratamento de água, visto que o controle desses materiais é crucial para a garantia de segurança e excelência no tratamento de água.
- O presente trabalho propõe que a alimentação da bomba de captação por meio de painéis fotovoltaicos mostra-se uma solução viável para a problemática.
- Para atender ao sistema de captação de água, dividido em 4 etapas, foi necessário um tanque de 40 m<sup>3</sup> de água na primeira etapa de captação, e em função disso, o estudo avaliou que o material da área elétrica adequada a essa situação foi uma bomba com a potência de 25 CV, alimentada por 27 painéis fotovoltaicos de 585 Wp.

## 6 REFERÊNCIAS

AQUASTAT.n.d. **Aquastat: FAO's Global Information System on Water and Agriculture. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).**

Disponível em: [www.fao.org/aquastat/en/](http://www.fao.org/aquastat/en/). Acesso em: 5 maio 2024.

ANEXO XX In: BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.** Publicada no Diário Oficial da União, sup. p. 360 de 3 out. 2017.

Disponível em:

[https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005\\_03\\_10\\_2017.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html). Acesso em: 2 maio 2024.

BRASIL. **LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020. Marco legal do saneamento básico.** Ano 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Cuidados com água para consumo humano.** Brasília, DF: MS, 2011. 1 fôlder.

BRASIL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), ano-base 2018.**

EINSTEIN, A. **Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.** Annalen der Physik, v. 322, n. 6, p. 132-148, 1905.

FERREIRA, André Luiz Nascente; IFG (Goiás). Campus Jataí. **CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP's): Linguagem de Lista de Instruções.** [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em:

[https://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens\\_upload/Apostila%20-%20CLP%20-%20Lista%20de%20instruções.pdf](https://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/Apostila%20-%20CLP%20-%20Lista%20de%20instruções.pdf). Acesso em: 22 maio 2024.

FG. **Linguagens de Programação PLC: Vá Além da Lógica Ladder.** [S. l.], 2024.

Disponível em:

<https://fgltda.com.br/linguagens-de-programacao-plc-va-alem-da-logica-ladder/>. Acesso em: 27 maio 2024.

FLORES, Ariana Alves Barbosa. **DIMENSIONAMENTO DE BOMBEAMENTO HIDRÁULICO PARA ELEVAÇÃO DE ÁGUA ALIMENTADO POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.** Orientador: Prof. Dr. Augusto César de Mendonça Brasil. 2019.

Trabalho de Conclusão do Curso (TCC) (Bacharel em Engenharia de Energia) - Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2019. Disponível em:

[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/25283/1/2019\\_ArianaAlvesBarbosaFlores\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/25283/1/2019_ArianaAlvesBarbosaFlores_tcc.pdf).

Acesso em: 30 ago. 2024.

FRANKLIN ELECTRIC. Schneider Motobombas. **Tabela de Seleção de Bombas e Motobombas**. [S. l.: s. n.], 2023. 96 p. Disponível em:

[https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/321009/schneider\\_tabela\\_selecao\\_2024\\_08.pdf](https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/321009/schneider_tabela_selecao_2024_08.pdf). Acesso em: 3 dez. 2024.

FUSATI. **A Importância do Tratamento da Água**. [S. l.], 15 jan. 2024. Disponível em:

<https://www.fusati.com.br/a-importancia-do-tratamento-da-agua/>. Acesso em: 15 maio 2024.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA. CERB. **AUMENTO DA OFERTA DE ÁGUA NA ZONA RURAL**. [S. l.], 2024. Disponível em:

<http://www.cerb.ba.gov.br/programas/aumento-da-oferta-de-%C3%A1gua-na-zona-rural>.

Acesso em: 13 maio 2024.

IBGE. Censo Demográfico. **Panorama do Município de Feira de Santana - Bahia**. [S. l.],

2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/feira-de-santana/panorama>. Acesso em: 22 maio 2024.

INFOESCOLA. **Dopagem Eletrônica: Semicondutores**. [S. l.], 2024. Disponível em:

[https://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/#google\\_vignette](https://www.infoescola.com/quimica/dopagem-eletronica/#google_vignette). Acesso em: 3 jun. 2024.

LEGISLAÇÕES FEDERAIS. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 274, DE 29 DE NOVEMBRO 2000**. Anexo A, [S. l.], 29 nov. 2000. Disponível em:

<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Anexo-A-Legislações.pdf>. Acesso em: 18 set. 2024.

MALVINO, Albert. **Eletrônica**. 8ª ed. [S. l.: s. n.], 2016. v. 1.

MÉRITO COMERCIAL. **Bombas Dosadoras: como funciona, tipos, função e mais!** [S. l.], 28 ago. 2024. Disponível em:

<https://blog.meritocomercial.com.br/o-que-e-uma-bomba-dosadora/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIAS. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito - CRESESB. Manual, 2, 2014. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, [S. l.], 2014. Disponível em:

[https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](https://cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 11 jul. 2024.

NEOSOLAR. **Placa Solar Fotovoltaica**. [S. l.], 2024. Disponível em:

<https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar.html>. Acesso em: 1 dez. 2024.

ONU. UNESCO. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023: parcerias e cooperação para a água; fatos, dados e exemplos de ação**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em:

[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659_por). Acesso em: 24 maio 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU News. **46% da população global vive sem acesso a saneamento básico**: Estudo lançado pela Unesco marca abertura da Conferência da ONU sobre Água e Dia Mundial da Água; mais de um quarto das pessoas em todo o mundo sofrem com a falta de água potável; problema deve atingir até 2,4 bilhões de pessoas até 2050. *Perspectiva Global: Reportagens humanas*, [S. l.], p. 1, 22 mar. 2023.

Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/03/1811712>. Acesso em: 2 maio 2024.

SABESP. **Tratamento de Água**. [S. l.], 2024. Disponível em:

<https://www.sabesp.com.br/o-que-fazemos/fornecimento-agua/tratamento-agua>. Acesso em: 15 maio 2024.

SALA DA ELÉTRICA. **Descubra os 5 Tipos de Linguagens do CLP na Elétrica Industrial**. [S. l.], 25 abr. 2022. Disponível em:

<https://www.saladaeletrica.com.br/tipos-de-linguagens-do-clp/>. Acesso em: 27 maio 2024.

SANTOS, Renato Cardoso dos. **LOGO2VHDL: modelos descritos em VHDL a partir da linguagem do LOGO!Soft Comfort da Siemens**. 2007. 87 f. Dissertação (mestrado) -

Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/026e470b-3be1-4244-a68d-957ed16aa51b>. Acesso em: 25 maio 2024.

SIMATIC. In: SIEMENS. **Manual de instruções do LOGO!**. [S. l.: s. n.], 2003. Disponível em: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att\\_82574/v1/Logo\\_pt.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/461/16527461/att_82574/v1/Logo_pt.pdf).

Acesso em: 1 dez. 2024.

SUNDATA. In: CEPTEL. CRESESB. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. [S. l.], 25 jan. 2018.

Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 1 dez. 2024.

UFPR. Demec. **O Grafcet e a programação de lógica sequencial em CLPs**. [S. l.: s. n.],

2016. Disponível em: <http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM265/Grafcet.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.

UFPR. Delt. **Como a Célula Fotovoltaica Funciona**. [S. l.], 2014. Disponível em:

<https://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/luischan/comofunciona.htm>. Acesso em: 15 maio 2024.

WENDLING, Marcelo. **Semicondutores**. [S. l.: s. n.], 2011. Disponível em:

<https://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/1---semicondutores.pdf>. Acesso em: 15 maio 2024.

WEG. NeoSolar. **SOLAR PUMP DRIVE CFW500: Manual de aplicação**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em:

<https://www.neosolar.com.br/amfile/file/download/file/210/product/31424/>. Acesso em: 3 dez. 2024.

WEG. **Manual do usuário Clic-02: Micro controlador programável**. [S. l.: s. n.], 2021.

Disponível em:

<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h86/hcf/WEG-CLIC-02-user-manual-10009280784-pt-en-es.pdf>. Acesso em: 14 maio 2024.