



**Lourenço Bevilaqua de Quadros**

**PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO PARA UM SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO  
DE ÁGUA TRATADA EM AMBIENTE INDUSTRIAL**

Horizontina-RS

2023

**Lourenço Bevilaqua de Quadros**

**PROPOSTA DE AUTOMAÇÃO PARA UM SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO  
DE ÁGUA TRATADA EM AMBIENTE INDUSTRIAL**

Projeto do Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a o Trabalho Final de Curso na Engenharia de Controle e Automação da Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Me. Rodrigo Bastos.

Horizontina-RS

2023

## RESUMO

O desenvolvimento de tecnologias acerca do reuso de efluentes industriais tratados está atrelado aos conceitos de sustentabilidade dos recursos ambientais. Frente a essa consideração, esta pesquisa aborda a importância do monitoramento e controle de efluentes industriais em uma estação de tratamento, destacando a necessidade de desenvolver um sistema automatizado para o reuso de água. O objetivo principal do estudo foi implementar um sistema de monitoramento e controle automatizado, culminando no desenvolvimento de um protótipo a fim de validar o sistema proposto. O sistema projetado através do uso de um controlador lógico programável (CLP) juntamente com a introdução de um medidor de fluxo construído a partir da plataforma ARDUINO, possibilita criar um sistema de baixo custo, capaz de coletar dados em tempo real, além do monitoramento e controle direcional do processo. Os resultados obtidos na prototipagem mostraram-se eficazes diante dos objetivos traçados, viabilizando a implementação desse sistema automatizado, contribuindo assim com o meio ambiente através do uso eficiente dos recursos hídricos.

**Palavras-chave:** Sistema de monitoramento e controle, plataforma Arduino, medidor de fluxo

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de formas de energia em um sensor .....	14
Figura 2 - Ilustração de formas de energia em um sensor .....	15
Figura 3 - Princípio de funcionamento de um sensor de fluxo tipo efeito <i>hall</i> .....	16
Figura 4 - Partes de um controlador lógico programável.....	17
Figura 5 - Controlador lógico programável .....	18
Figura 6 - Posição da válvula em uma malha de controle.....	18
Figura 7 - Exemplo de instruções em linguagem <i>Ladder</i> .....	19
Figura 8 - Variáveis de uma linguagem <i>Ladder</i> .....	19
Figura 9 - Arduino UNO R3 .....	20
Figura 10 - Posição da válvula em uma malha de controle.....	21
Figura 11 - Representatividade da operação de uma válvula solenoide (NF).....	22
Figura 12 - Etapas para o desenvolvimento do projeto de pesquisa.....	24
Figura 13 - Etapas para o desenvolvimento do protótipo .....	25
Figura 14 - Fluxograma do processo para descarte do efluente tratado .....	28
Figura 15 - Fluxograma do processo para descarte ou reuso do efluente tratado ....	30
Figura 16 – Fluxograma da linguagem <i>Ladder</i> .....	32
Figura 17 - Execução do <i>software Clic02 Edit</i> .....	33
Figura 18 - Seleção do modelo de <i>hardware</i> .....	33
Figura 19 - Fluxograma do processo para descarte ou reuso do efluente tratado ....	34
Figura 20 - Fluxograma do processo para descarte ou reuso do efluente tratado ....	35
Figura 21 - Fluxograma do processo para descarte ou reuso do efluente tratado ....	36
Figura 22 - Linhas de programação 001 e 002.....	37
Figura 23 - Linha de programação 003 .....	37
Figura 24 - Linhas de programação 005, 006 e 007.....	38
Figura 25 - Linha de programação 009 .....	38
Figura 26 - Linha de programação 011 .....	39
Figura 27 - Linhas de programação 011, 012, 013, 015 e 016.....	40
Figura 28 - Simulação em <i>software Clic02 Edit</i> .....	41
Figura 29 - Simulação no <i>Software Proteus 8 Professional</i> .....	43
Figura 30 - Painel elétrico de controle e automação .....	44
Figura 31 - Painel elétrico de controle e automação .....	45
Figura 32 - Sistema hidráulico, válvulas e sensor de fluxo.....	46

Figura 33 - Sistema de controle de nível por microchaves.....	47
Figura 34 - Motor para bombeamento do efluente .....	47
Figura 35 - Imagem do <i>display</i> .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recursos necessários para <i>Softwares</i> .....	26
Tabela 2 - Recursos necessários para materiais .....	26
Tabela 3 - Primeira etapa de operações dos testes .....	48
Tabela 4 - Segunda etapa de operações dos testes .....	48
Tabela 5 - Terceira etapa de operações dos testes .....	49

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1	Tema .....	7
1.2	Delimitação do tema .....	7
1.3	Problema de pesquisa .....	8
1.4	Hipóteses.....	8
1.5	Objetivos.....	9
<b>1.5.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>9</b>
1.6	Justificativa .....	9
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
2.1	Água na indústria.....	11
2.2	Instrumentação industrial.....	11
2.3	Controle de processos.....	12
2.4	Transdutores .....	13
2.5	Sensores .....	13
<b>2.5.1</b>	<b>Sensor de nível .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Sensor de vazão .....</b>	<b>15</b>
2.6	Controlador Lógico Programável (CLP).....	16
<b>2.6.1</b>	<b>Definições de um CLP.....</b>	<b>16</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Linguagem de programação <i>LADDER</i>.....</b>	<b>18</b>
2.7	Microcontrolador Arduino.....	20
2.8	Atuadores .....	20
<b>2.8.1</b>	<b>Válvulas de controle.....</b>	<b>21</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Atuadores elétricos tipo solenoide.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
3.1	Planejamento do projeto.....	24
3.2	Recursos necessários .....	26
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
4.1	Características dos processos da ETE.....	28
<b>4.1.1</b>	<b>Fluxograma de descarte do efluente tratado .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Fluxograma de reuso do efluente tratado .....</b>	<b>29</b>

4.2	Prototipagem .....	31
4.2.1	<b>Programação <i>Ladder</i> e simulações no CLP WEG <i>Clic02 Edit</i>.....</b>	<b>31</b>
4.2.2	<b>Microcontrolador Arduino IDE.....</b>	<b>41</b>
4.2.3	<b>Simulações no <i>Software Proteus 8 Professional</i>.....</b>	<b>42</b>
4.2.4	<b>Montagem do protótipo.....</b>	<b>43</b>
4.2.5	<b>Realização de testes.....</b>	<b>48</b>
5	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>
	<b>APÊNDICE A - PROGRAMAÇÃO ARDUINO .....</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICE B – DIAGRAMA MULTIFILAR DE FORÇA E COMANDO .....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão acelerada da economia no mundo, em virtude do desenvolvimento de organizações empresariais e pelas transformações do progresso industrial e social, levou ao aumento da utilização de alguns recursos naturais, tais como a água, solo e vegetação.

Segundo Martins (2014), um dos primeiros registros de produção de efluente industrial remete ao século XIX, com a Revolução Industrial e a produção de teares mecânicos a vapor para produção de tecidos na Inglaterra. No Brasil, os primeiros registros aconteceram por volta da década de 50 do século XX.

Segundo Mirri et al. (2021, p. 21), [...] “a implantação de gradual de consumo sustentável torna-se um importante fator para a garantia do desenvolvimento sustentável [...]”.

Neste sentido, algumas alternativas adotadas para a redução dos impactos ambientais em processos industriais contam com programas de reuso de efluentes tratados. “Enquanto o tratamento de efluente convencional tem como objetivo natural atender aos padrões de lançamento, a motivação para o reuso é a redução de custos e muitas vezes a asseguuração do abastecimento de água” (GIORDANO, 2004). O autor afirma ainda que é necessário implementar um sistema de reuso do qual deve-se complementar o sistema de tratamento de efluentes existente.

Diante disso, o presente projeto tem como objetivo principal, desenvolver um sistema automatizado de controle e monitoramento para direcionamento dos efluentes tratados, tendo como base de instrumentação a plataforma ARDUINO, a qual, será utilizada para a construção de um medir de fluxo conceitual capaz de operar em conjunto com um controlador lógico programável de baixo custo.

### 1.1 Tema

Automação de uma estação de tratamento para reuso de água.

### 1.2 Delimitação do tema

Desenvolvimento de um sistema automatizado de monitoramento e controle direcional de efluente industrial processado em uma estação de tratamento, no município de Horizontina.

### 1.3 Problema de pesquisa

De acordo com Marconi e Lakatos (2012), o problema é onde se encontra a dificuldade do projeto, a qual deve ser solucionada ao longo do estudo. Para a formulação do problema de pesquisa parte-se para os questionamentos, onde o tema proposto começa a ser discorrido por parte do pesquisador (MARCONI; LAKATOS, 2012).

Segundo Silveira (2010), as indústrias estão utilizando cotidianamente, recursos para reduzir os danos que podem ser causados ao meio ambiente devido às suas linhas de produção. Com isso, garantem o tratamento de seus efluentes líquidos, de seus resíduos sólidos e da emissão atmosférica para o meio ambiente. Ainda conforme Silveira (2010), a preocupação com o meio ambiente vai muito além das indústrias, há órgãos governamentais que realizam fiscalizações para garantir que o tratamento seja realizado e não seja devolvido efluente contaminado para o ambiente. A partir daí, um dos investimentos que se tornaram indispensáveis é a implantação de um sistema de tratamento de efluente.

Diante do exposto, surge a necessidade de automatizar a estação de tratamento de efluentes da empresa, tendo em vista que atualmente o seu processo ocorre de maneira manual. Assim, o problema da pesquisa caracteriza-se da seguinte maneira: de que forma um sistema de instrumentação industrial pode ser implementado para auxiliar no controle do reaproveitamento e monitoramento de efluentes tratados em uma estação de tratamento?

### 1.4 Hipóteses

- a) Um sistema de instrumentação industrial é o meio eficaz de implementar a solução tecnológica para controle e automação do processo de uma estação de tratamento de efluentes.
- b) O controlador lógico programável é definido como dispositivo fundamental para automação e controle de um sistema de uma estação de tratamento de efluentes.
- c) A prototipagem para monitoramento e controle de um sistema permite testar a viabilidade e funcionalidade de um processo.

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema automatizado de monitoramento e controle para reaproveitamento de efluentes industriais tratados.

### 1.5.2 Objetivos específicos

- a) Propor o sistema de automatização do processo de descarte de efluente tratado.
- b) Desenvolver o sistema de controle e automação do sistema proposto.
- c) Realizar o monitoramento de vazão e volume.
- d) Desenvolver um protótipo e validar os resultados.

## 1.6 Justificativa

O desenvolvimento de tecnologias acerca do reuso de efluentes tratados está atrelado aos conceitos de sustentabilidade dos recursos ambientais. “O conceito de desenvolvimento sustentável ainda permite diversas interpretações, porém já deixa evidente que é preciso buscar o uso racional dos recursos naturais e zelar pela proteção do meio ambiente” (MIRRI [et al.], 2021). Este enfoque busca desenvolver a adoção de políticas eficazes para o gerenciamento dos recursos naturais.

A prática de políticas de gerenciamento ambiental realizada por meio de órgãos competentes visa fiscalizar, licenciar, desenvolver estudos e pesquisas, além de programas e projetos, e tem por finalidade garantir a proteção e preservação do meio ambiente.

A busca de recursos e técnicas a fim de desenvolver processos produtivos sustentáveis, visando a preservação dos recursos naturais, maior produtividade e diminuição de custos, está cada vez mais evidente no setor industrial, possibilitando retorno econômico dos investimentos relacionados à automação de processos industriais.

O atual sistema da estação de tratamento realiza o descarte natural do efluente após seu tratamento devido à ausência de um sistema de reaproveitamento, resultando na perda de recursos hídricos e benefícios para a empresa.

Acerca deste contexto, este projeto tem por finalidade o desenvolvimento de um sistema automatizado de monitoramento e controle para reaproveitamento de efluentes industriais tratados. Essa abordagem visa não apenas a redução dos custos operacionais por meio de mão de obra, mas também a garantia de uma maior sustentabilidade, cooperando assim para a preservação do meio ambiente, estimulando um uso mais eficiente de recursos naturais. Além disso, o reuso do efluente tratado possibilita diversas aplicações, tais como irrigação em áreas verdes, sistemas de resfriamento industrial, processos industriais, descargas de sanitários, lavagem de equipamentos, pisos e veículos, entre outros benefícios. Por fim, este projeto visa estimular o desenvolvimento de práticas quanto à utilização de tecnologias que contribuam para processos eficientes e automatizados.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O embasamento teórico deste projeto tem por finalidade buscar conceitos básicos relacionados ao tratamento de efluente nas indústrias e suas práticas de reuso. Além disso, essa seção visa compreender princípios e técnicas envolvidas na medição, monitoramento e controle de variáveis em sistemas industriais.

### 2.1 Água na indústria

A diversificação das atividades humanas, desenvolvimento urbano, industrial e agrícola tem exigido atenção maior quanto às necessidades do reuso da água (MANCUSO; SANTOS, 2003).

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005, p. 17), “Os padrões de qualidade para a água industrial dependem de como ela será aplicada.” Ainda, o autor citado complementa, “A prática de reuso é um dos componentes do gerenciamento de águas e efluentes e é um instrumento para a preservação dos recursos naturais e controle da poluição ambiental [...]”.

A água pode ser um fluido auxiliar de diversas atividades, como a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, como veículo ou em operações de lavagem.

Da mesma forma que a água utilizada como matéria-prima, o grau de qualidade da água utilizada como fluido auxiliar depende do processo a que se destina. Caso essa água entre em contato com o produto final, seu grau de qualidade será mais restritivo, de acordo com o tipo de produto. Se a água não entrar em contato com o produto final, seu grau de qualidade pode ser menos restritivo que o da água para consumo humano, principalmente com relação à concentração residual de agentes desinfetantes (MIERZWA; HESPANHOL, 2005).

Para Castro (2022, p. 20), os efluentes industriais são resultantes de atividades não convencionais que geram resíduos, como águas de resfriamento, águas de lavagem e desinfecção de equipamentos. Diferente dos efluentes domésticos, eles contêm poluentes distintos e requerem métodos de tratamento específicos. Devido à variedade de processos industriais existentes, esses efluentes são desafiadores de serem caracterizados de forma precisa.

### 2.2 Instrumentação industrial

Conforme Franchi (2015, p. 15), a instrumentação pode ser definida como a ciência que estuda, desenvolve e aplica instrumentos de medição de variáveis e controle de processos, a fim de aprimorar o desempenho e a obtenção de medidas

precisas confiáveis. “Conhecer a instrumentação industrial é essencial para o controle de processos” (GARCIA, 2017, p. 26).

Conforme sua função, os instrumentos podem estar localizados no campo ou num painel dentro de uma sala de controle. Os instrumentos recebem o nome correspondente à variável de processo sob controle. Assim, pode-se ter um transmissor de nível, um indicador e controlador de temperatura, uma chave de pressão (também chamado de pressostato), entre outras combinações de funções e variáveis de processo (ALVES, 2013).

“Instrumento é o nome dado a qualquer um dos vários tipos de dispositivos usados na indicação ou medição de grandezas físicas ou condições, desempenho, posição, direção, entre outros parâmetros semelhantes” (DUNN, 2013, p. 5).

Para Thomazini e Albuquerque (2020, p. 13), os instrumentos são classificados em duas categorias.

- 1) Quanto à localização:
  - a) Instrumentos de painel ou uso interno.
  - b) Instrumentos de campo ou uso ao tempo
- 2) Quanto à sua função:
  - a) Medidores.
  - b) Indicadores.
  - c) Registradores.
  - d) Controladores.
  - e) Alarmes.

## 2.3 Controle de processos

A definição de processo segundo Tolentino (2015, p. 13), é caracterizada por um conjunto de operações (químicas, físicas ou bioquímicas) que tem como objetivo transformar a matéria-prima no produto desejado, de forma econômica e em grande escala.

O método de manter continuamente as variáveis, físicas ou químicas, de um processo nos valores desejados, sem intervenção humana, é intitulado controle automático (GARCIA, 2017). O autor ainda afirma que controlar um processo é fazer com que as variáveis interajam de modo ordenado, mantendo-as o mais próximo de valores considerados ideais.

Há dois tipos de controle de processos: discreto e contínuo. “O controle discreto abrange as técnicas de intertravamento e sequenciamento. O controle contínuo

divide-se em controle em malha aberta e controle em malha fechada ou automático” (GARCIA, 2017, p. 26).

## 2.4 Transdutores

Transdutor é um instrumento que, associado a um ou mais sensores, são empregados em um sistema de controle de processo.

Transdutores são dispositivos que podem converter uma forma de energia em outra como, por exemplo, um termômetro de resistência que converte a temperatura em resistência elétrica, ou ainda um termopar que converte a temperatura em tensão. Ambos esses dispositivos fornecem uma saída proporcional à temperatura. Muitos transdutores são classificados como sensores (DUNN, 2013).

É um dispositivo completo que contém um sensor, usado para transformar uma grandeza qualquer em outra que pode ser utilizada nos dispositivos de controle. Além disso, pode ser considerado uma interface às formas de energia do ambiente e do circuito de controle ou, eventualmente, entre o controlador e o atuador (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020).

## 2.5 Sensores

Instrumento destinado a monitorar e detectar as variáveis de natureza física, química ou biológica.

Sensores são dispositivos capazes de detectar as variáveis físicas, tais como a temperatura, a intensidade luminosa ou movimento, possuindo a capacidade de fornecer uma saída mensurável que varia em relação à amplitude da variável física (DUNN, 2013).

A definição do tipo de sensor a ser empregado em um processo depende exclusivamente da finalidade de sua aplicação, do ambiente inserido, necessidade de precisão e exatidão da variável mensurada.

Sensor: é o componente capaz de traduzir uma grandeza física em outra que possa ser interpretada pelo sistema de controle (geralmente uma tensão ou corrente elétrica), ou em uma visualização gráfica que possa ser compreendida pelo operador (NORMEY-RICO; MORATO, 2021).

Ilustra-se, por meio da Figura 1, a compreensão sobre algumas funcionalidades de um sensor, considerando o elemento físico como sinal de entrada a ser interpretado e o sinal de saída.

Figura 1 - Ilustração de formas de energia em um sensor



Fonte: (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020, p. 11).

### 2.5.1 Sensor de nível

O monitoramento dos níveis de um determinado líquido em um tanque ou reservatório é fundamental para o controle de um processo industrial. Segundo Alves (2013, p.26), a medição de nível em processos industriais tem por objetivos a avaliação de estoques em tanques de armazenamento e o controle de processos contínuos.

Diferentes métodos são empregados para a medição de níveis em um recipiente.

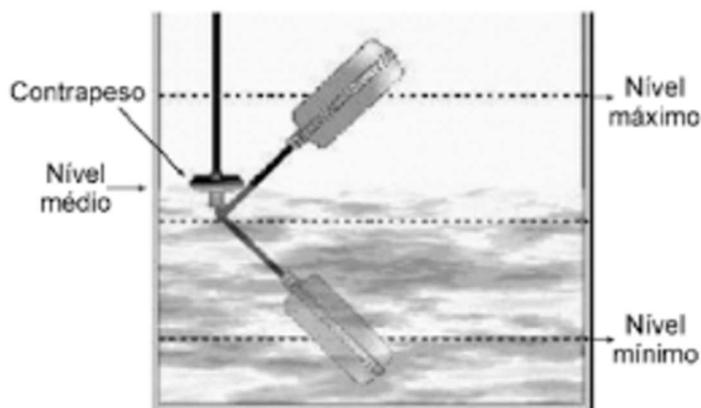
Realizar a medição de nível significa avaliar a altura de um líquido ou de um sólido em um tanque ou reservatório. Essa avaliação pode ser feita por meio da posição da superfície da substância (líquido ou sólido), da pressão hidrostática, do tempo de propagação de onda sonora, etc. (FERRARI et al., 2021).

Para Franchi (2015, p. 174), “A seleção do sensor correto de medição de nível é baseada não somente na escolha da tecnologia de medição, mas também nas características de aplicação e nas necessidades de instalação.”

Segundo Thomazini e Albuquerque (2020, p. 56), os sensores de nível utilizados para controle de líquidos contidos em reservatórios ou tanques abertos, baseado nos princípios da flutuação do filósofo Arquimedes, embora de tecnologia remota, permanecem como opção para diversas aplicações. De acordo com os autores, a chave de nível boia é um sensor do tipo flutuador e que possui conexões mecânicas que convertem o movimento de subida e descida na abertura e/ou

fechamento de um contato elétrico, ou seja, traduzido para uma ação de controle. A Figura 2 mostra a instalação de um sensor de nível boia.

Figura 2 - Ilustração de formas de energia em um sensor



Fonte: (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020, p. 57).

### 2.5.2 Sensor de vazão

Conforme Ferrari et al., (2021, p. 63), “A vazão é uma importante variável do processo químico industrial e a partir dela diversas estratégias de controle são desenvolvidas”.

Os autores ainda afirmam que:

Conhecer a vazão significa inferir padrões de escoamento, relacionar propriedades de energia ou mesmo conhecer a quantidade de material (em massa ou em volume) que entra e sai de um equipamento ou processo. Para tanto, diversos dispositivos foram desenvolvidos com o objetivo exclusivo de medir vazão. Eles são diferentes entre si, variando desde sofisticação e capacidade até custo e precisão.

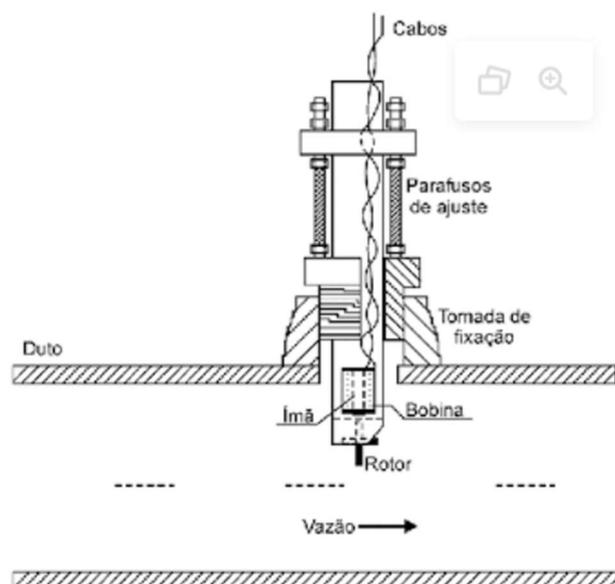
Segundo Alves (2013, p. 41), a seleção de um medidor de vazão baseia-se no claro entendimento dos requisitos da aplicação particular e deve ser investido tempo na avaliação da natureza do fluido processado e da instalação como um todo de uma maneira sistemática.

As medições de vazão são normalmente indiretas, utilizando pressões diferenciais para medir a taxa de vazão. Podem ser divididas nas seguintes categorias: taxa de vazão, vazão total e fluxo de massa. A escolha do dispositivo de medição dependerá da precisão necessária e das características do fluido (gás, líquido, partículas em suspensão, temperatura, viscosidade, entre outros) (DUNN, 2013).

De acordo com Franchi (2015, p. 179), para a compreensão das técnicas de medição de vazão é fundamental o conhecimento de conceitos fundamentais, tais como: velocidade; escoamento laminar; escoamento turbulento; viscosidade; número de Reynolds ( $Re$ ); vazão.

Conforme Thomazini e Albuquerque (2020, p. 63), o sensor magnético do tipo efeito *hall* tem em seu princípio de funcionamento um rotor que gira em velocidade proporcional ao fluxo do líquido, sendo que as pás possuem ímãs permanentes das quais interagem com o campo magnético e conseqüentemente a indução de um pulso de tensão na respectiva bobina do efeito *hall* devido à variação do fluxo magnético. A Figura 3 representa aspectos construtivos do modelo citado.

Figura 3 - Princípio de funcionamento de um sensor de fluxo tipo efeito *hall*



Fonte: (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2020, p. 65).

## 2.6 Controlador Lógico Programável (CLP)

### 2.6.1 Definições de um CLP

Em um sistema de controle industrial, o controlador lógico programável tem por finalidade desempenhar funções lógicas, sequenciais, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos (FRANCHI, 2020). O autor ainda afirma que, o

controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial.

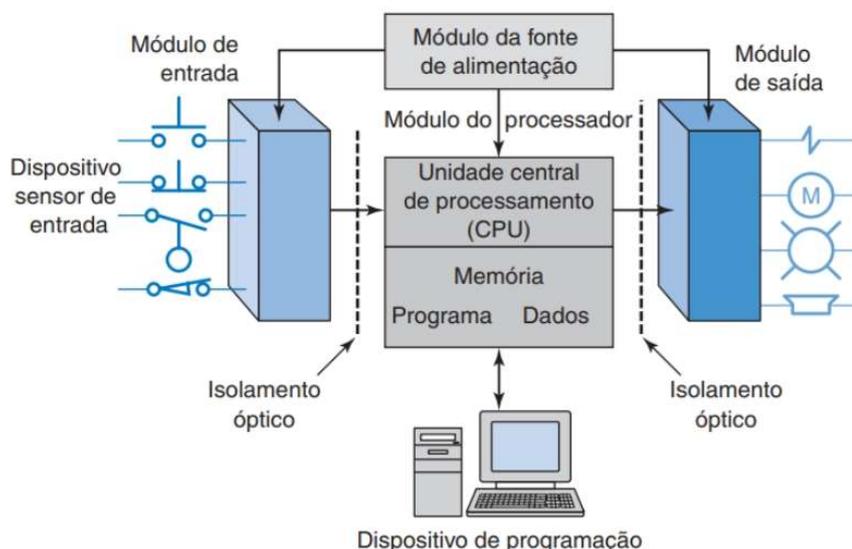
O CLP permite a integração com inúmeros subsistemas, instrumentos e sinais remotos de entradas e saídas (E/S) (ALVES, 2013).

O CLP é projetado para arranjos de múltiplas entradas e saídas, faixas de temperatura ampliadas, imunidade a ruído elétrico e resistência à vibração e impacto. Programas para controle e operação de equipamentos de processos de fabricação e mecanismo normalmente são armazenados em memória não volátil e com bateria incorporada. Um CLP é um exemplo de um sistema em tempo real, considerando que a saída do sistema controlado por ele depende das condições de entrada.

Ele é basicamente um computador digital projetado para uso no controle de máquinas, mas diferentemente de um computador pessoal, ele foi projetado para funcionar em um ambiente industrial e é equipado com interfaces especiais de entrada/saída e uma linguagem de programação e controle (PETRUZELLA, 2014).

Ainda, para Petruzella (2014), um CLP pode ser dividido em partes. De acordo com a Figura 4, temos a unidade central de processamento (CPU), a seção de entrada/saída (E/S), a fonte de alimentação e o dispositivo de programação.

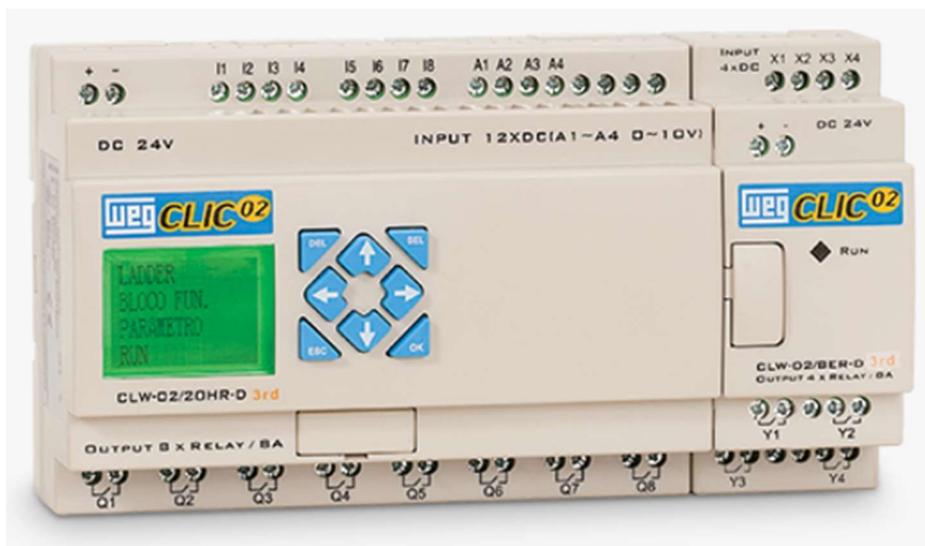
Figura 4 - Partes de um controlador lógico programável



Fonte: (PETRUZELLA, 2014)

Os critérios de classe e aplicação dos CLPs incluem a funcionalidade, número de entradas e saídas, custo e tamanho. Além disso, combinar o CLP com a aplicação é o fator chave no processo de seleção (PETRUZELLA, 2014). A Figura 5 demonstra um modelo de CLP disponível para comercialização.

Figura 5 - Controlador lógico programável

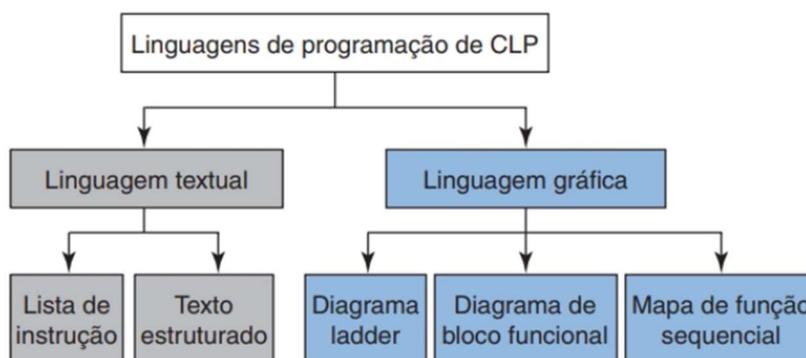


Fonte: Fabricante WEG (2023)

## 2.6.2 Linguagem de programação *LADDER*

Segundo Franchi e Camargo (2020, pag.33), “Linguagem de programação é um conjunto padronizado de instruções que o sistema computacional é capaz de reconhecer”. De acordo com os autores, o ato de programar significa fornecer uma sequência de instruções a um sistema computacional, executando automaticamente as decisões de controle com base no estado atual e das entradas e saídas em um momento específico. A Figura 6 identifica os diferentes tipos de linguagens de programação de um CLP.

Figura 6 - Posição da válvula em uma malha de controle

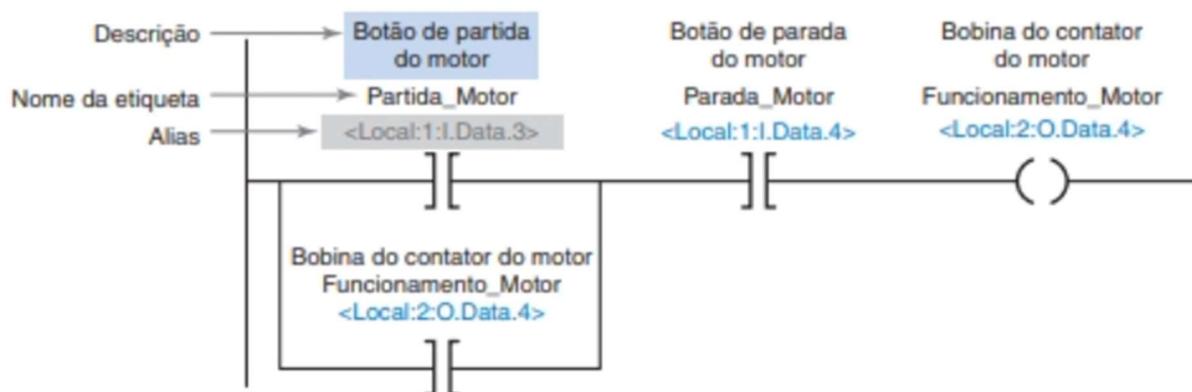


Fonte: (PETRUZELLA, 2014)

A linguagem *Ladder* (LD) é um método de programação com uma representação gráfica de um processo em degraus lógicos (PETRUZELLA, 2014). De

acordo com Franchi e Camargo (2020, p.37), “é uma linguagem gráfica baseada na lógica de relés e contatos elétricos para a realização de circuitos de comandos e acionamentos”. A Figura 7 exemplifica algumas instruções de uma linguagem de programação LD em uma determinada situação caso.

Figura 7 - Exemplo de instruções em linguagem *Ladder*



Fonte: (PETRUZELLA, 2014)

De acordo com Alves (2010), na linguagem LD existem as instruções lógicas, chamadas de endereços de memórias, responsáveis pela execução de determinadas funções de acordo com as áreas específicas. De modo geral, as instruções são representadas de acordo com as áreas e funções das variáveis, conforme Figura 8.

Figura 8 - Variáveis de uma linguagem *Ladder*

#### Variáveis Discretas (Bits)

Entradas (%I)  
Saídas (%Q)  
Internas (%M)  
Temporárias (%T)  
Globais (%G)  
Sistema (%S)

#### Variáveis em Registros (Conjunto de 16 bits)

Entradas analógicas (%AI)  
Saídas analógicas (%AQ)  
Registros de uso geral (%R)  
Registros de programa (%P)  
Registros locais (%L)

Fonte: (ALVES, 2010)

## 2.7 Microcontrolador Arduino

O microcontrolador Arduino é uma plataforma de padronização de interfaces de *hardware* que permite a integração de diversos periféricos. Dispõe de uma unidade central de processamento com possibilidade de programação em *software* livre (JÚNIOR; SILVA, 2015).

Para Nussey (2019, p.7), o “Arduino pode ser tanto um *hardware* quanto um *software*”. Nussey (2019) afirma que o Arduino é um circuito eletrônico impresso projetado para utilizar um chip microcontrolador, além de outras entradas e saídas.

O Arduino é uma plataforma de *hardware* de código aberto, construída em torno do microcontrolador Atmel AVR, que pode ser programada usando uma linguagem de programação semelhante a C/C++. Foi desenvolvido com o objetivo de oferecer uma plataforma de prototipagem fácil para projetos interativos, combinando *software* e *hardware*. O ambiente integrado para o desenvolvimento da programação é chamado de ID (do inglês Integrated Development Environment) (OLIVEIRA; ZANETTI, 2017).

Conforme Oliveira e Zanetti (2017), o Arduino é constituído por um conjunto de pinos para a entrada e saída de dados que podem ser digitais e analógicos. A Figura 9 representa um modelo de Arduino disponível para comercialização.

Figura 9 - Arduino UNO R3



Fonte: Arduino (2010)

## 2.8 Atuadores

De acordo com Thomazini e Albuquerque (2020), atuadores são dispositivos que manipulam uma variável desejada em um controle de processo por meio de sinais.

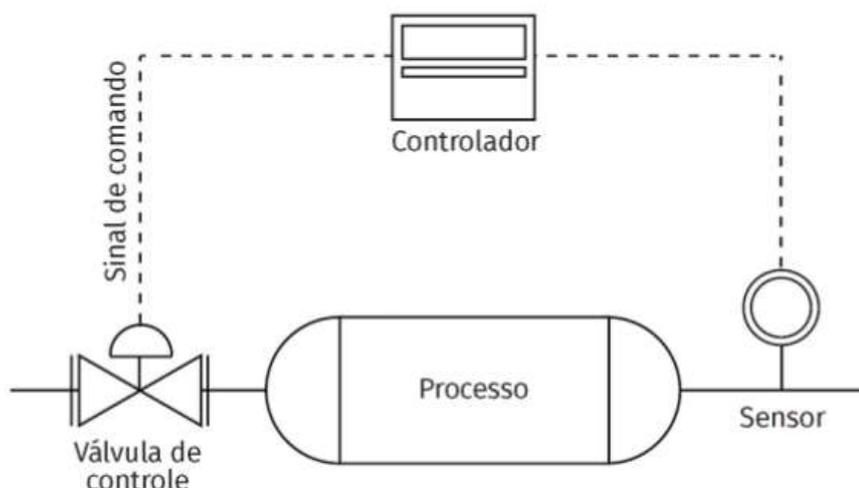
São exemplos de atuadores: válvulas (pneumáticas, hidráulicas); relés (estáticos, eletromecânicos); cilindros (pneumáticos, hidráulicos); motores (*step-motor*, *syncro*, *servomotor*); solenóides.

Também definidos como elementos finais de controle, os atuadores são dispositivos que executam a ação de controle, de acordo com o sinal recebido para a manipulação de uma determinada variável do processo (FERRARI; FERREIRA, et al. 2021).

### 2.8.1 Válvulas de controle

De acordo com Dunn (2013, p. 202), “As válvulas são o elemento final de uma malha de controle e são fundamentais no fornecimento de vazão adequada para o controle do processo”. A Figura 10 mostra a posição da válvula em uma malha de controle de um processo industrial.

Figura 10 - Posição da válvula em uma malha de controle



Fonte: (FERRARI; et al., 2021)

Para Franchi (2015, p. 243), define-se válvula como um dispositivo mecânico destinado à regulação de vazão de fluídos.

As principais funções da válvula de controle em um processo industrial são: Suportar as condições de operação do fluido do processo: a válvula deve ter características mecânicas e químicas para suportar a pressão, temperatura, corrosão, erosão e impurezas do fluido em escoamento no processo.

- > Apresentar resposta ao sinal de um controlador: o sinal enviado de um controlador é aplicado ao atuador da válvula, que movimenta uma haste, variando a área de passagem do fluido pela válvula.
- > Controlar a vazão: a válvula de controle altera a vazão de um processo, pela alteração de sua abertura.

- > Absorver a queda de pressão da linha: em todo o processo, a válvula é equipamento que pode fornecer ou absorver uma queda de pressão variável. Depois de instalada na tubulação e para poder desempenhar todas as funções requeridas, a válvula de controle deve ter corpo, atuador e castelo que suportem as variações de pressão que ocorrem no processo (FRANCHI, 2015).

## 2.8.2 Atuadores elétricos tipo solenoide

O atuador elétrico tipo solenoide é o elemento instalado na válvula que opera de modo a produzir um deslocamento na haste da válvula, alterando a característica da vazão. “A energia mecânica necessária para movimentar a válvula é obtida por meio do movimento do núcleo de uma bobina” (FRANCHI, 2015).

Essas válvulas atuam segundo um princípio digital, com duas posições:

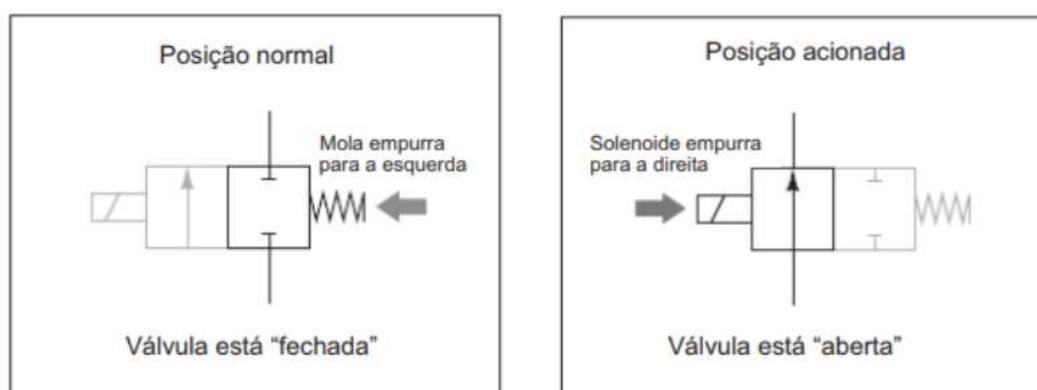
- > a bobina é ativada por uma corrente elétrica;
- > a bobina está na sua posição inicial sem corrente elétrica.

A operação da válvula solenoide é dada pelo equilíbrio de forças mecânicas e magnéticas. A força mecânica é dada por uma mola, e a magnética, por um campo magnético.

Na condição em que a válvula está sem energia elétrica, a força mecânica é maior que a elétrica, mantendo a válvula em sua posição inicial. Quando recebe energia elétrica, a força magnética é superior à mecânica e a haste da válvula é movimentada, alterando sua posição inicial (FRANCHI, 2015).

A Figura 11 representa o tipo de atuador, com uma válvula solenoide do tipo normalmente fechada (NF).

Figura 11 - Representatividade da operação de uma válvula solenoide (NF)



Fonte: (FRANCHI, 2015, p. 261)

### 3 METODOLOGIA

Para Gil (2002) a metodologia traz de forma detalhada os procedimentos que são percorridos ao longo da pesquisa, onde cada estudo possui sua própria abordagem, procedimentos e técnicas. Os métodos de abordagem se caracterizam por uma abordagem mais ampla, em nível de abstração mais elevado, dos fenômenos da natureza e da sociedade, esclarecendo acerca dos procedimentos lógicos que são seguidos para o desenvolvimento da investigação científica da pesquisa (MARCONI; LAKATOS, 2018). Para tanto, os métodos de abordagem aplicados neste trabalho foram a dedutiva e quantitativa.

A abordagem dedutiva parte de uma teoria geral, julgada como verdadeira até o presente momento, para atingir um resultado (GIL, 2002). Desta maneira, a partir do referencial bibliográfico do tema em estudo deu-se a evolução deste trabalho relacionando com a situação no desenvolvimento desta pesquisa. A abordagem quantitativa apresenta suas conclusões a partir de dados numéricos e análises estatísticas (MARCONI; LAKATOS, 2018). A abordagem quantitativa é empregada para analisar a quantidade de efluente tratado para o reuso no protótipo desenvolvido.

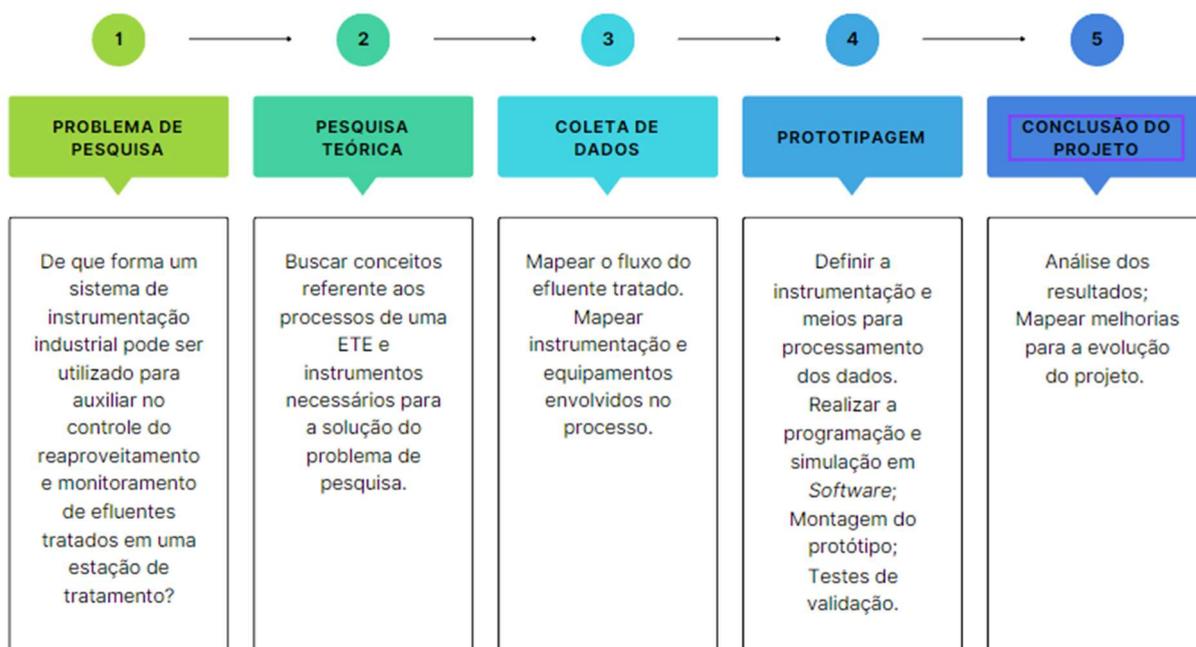
Os métodos de procedimentos para Marconi e Lakatos (2012), são as etapas mais concretas da investigação do estudo, com a finalidade de explicar o termo geral. Os procedimentos utilizados no estudo foram a pesquisa descritiva e experimental. A pesquisa descritiva apresenta como características a observação, análise e registro dos fatos, bem como, classifica e realiza a interpretação destes fatos, sem que haja interferência do pesquisador (GÜLLICH; LOVATO; EVANGELISTA, 2007). O estudo em questão apresenta-se como descritivo pois descreve a forma que ocorre o funcionamento do sistema de tratamento de reuso de água da empresa.

A pesquisa experimental de acordo com Gil (2017) baseia-se na escolha de um objeto com as respectivas variáveis que o afetam, para então, proceder uma experimentação controlada com a finalidade de observar os efeitos produzidos a fim de obter resultados. Este trabalho possui variáveis de entrada e saída no processo de automação da ETE para o reuso de água, sendo necessário realizar a manipulação e controle das variáveis.

### 3.1 Planejamento do projeto

O objeto a que se propõe o estudo trata-se de um sistema de automação para tratamento de dados e manipulação de grandeza física para estação de tratamento de efluentes em uma empresa privada, destinada à fabricação de maquinários agrícolas, localizada na cidade de Horizontina no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, a ser realizado no primeiro semestre de 2023. Para tanto, foi necessário estabelecer uma metodologia de pesquisa a fim de determinar procedimentos, técnicas e abordagens, estruturando o projeto de maneira clara e objetiva para a busca dos resultados. A figura 12 demonstra o planejamento por etapas da pesquisa e desenvolvimento do protótipo realizado, desde a identificação do problema de pesquisa até os resultados obtidos.

Figura 12 - Etapas para o desenvolvimento do projeto de pesquisa



Fonte: Autor (2023)

Ao identificar o problema de pesquisa relacionado ao tema proposto, delimita-se a abordagem e o escopo da investigação, definindo os objetivos e direcionando o trabalho de pesquisa e a coleta de dados, além de fornecer uma estrutura para a organização da prototipagem.

A fundamentação teórica utilizada nesta pesquisa científica fundamenta-se em bibliografias quanto a procedimentos metodológicos, livros físicos e eletrônicos, além

de artigos científicos. A bibliografia, dentro do contexto do problema de pesquisa, serviu de contextualização e deu apoio aos resultados e conclusões.

A coleta dos dados ocorreu por meio de observação relacionada ao problema da pesquisa, com o objetivo de mapear o fluxo do efluente e as variáveis envolvidas no processo industrial. Por meio da pesquisa de campo, entrevista informal com o técnico laboratorial responsável da ETE e análise de conteúdo documental, foi possível definir o fluxograma do sistema e identificar a instrumentação utilizada no processo atual.

A partir dos meios metodológicos citados foi desenvolvido um protótipo para simular o funcionamento da ETE com o sistema de automação e controle proposto neste projeto. A Figura 13 ilustra as etapas do desenvolvimento do protótipo.

Figura 13 - Etapas para o desenvolvimento do protótipo



Fonte: Autor (2023)

Por fim, a seção de análise e discussão dos resultados apresenta a síntese dos dados obtidos, permitindo relações entre a contextualização bibliográfica e o desenvolvimento prático por meio da prototipagem.

### 3.2 Recursos necessários

A criação de um protótipo envolve a utilização de diversos materiais e recursos que desempenham um papel fundamental no processo de desenvolvimento. Esses materiais podem variar de acordo com o objetivo e a natureza do protótipo, abrangendo desde componentes eletrônicos e estruturais até *softwares* e ferramentas de design. Além disso, é importante considerar a disponibilidade e a acessibilidade desses materiais, bem como sua qualidade e capacidade de atender aos requisitos específicos do protótipo. A escolha adequada dos materiais e recursos é essencial para garantir a funcionalidade e o desempenho, permitindo a realização de testes, modificações e melhorias ao longo do processo de desenvolvimento. Portanto, a seleção e o gerenciamento dos materiais e recursos são aspectos importantes para o sucesso do projeto de prototipagem.

A seleção dos recursos deste projeto foi delineada em 2 processos, conforme Tabela 1 e Tabla 2 em: *Softwares* e *Hardwares*.

#### Recursos em *Softwares*:

Tabela 1 - Recursos necessários para *Softwares*

Tipo de recurso	Aplicação
<i>Autodesk AutoCAD 2021</i>	Windows 10
<i>WEG Clic 02 Edit</i>	Windows 10
Arduino IDE	Windows 10

Fonte: Autor (2023)

#### Recursos em materiais:

Tabela 2 - Recursos necessários para materiais

Tipo de recurso	Quantidade	Unidade de medida
Disjuntor termomagnético monopolar Tramontina TR3kA C16	1	Peça
Fonte de alimentação Siemens LOGO POWER output DC 24V/2,5A 6EP3332 6SB00OAYO	1	Peça
Relé acoplador <i>Phoenix Contact DC 24V</i>	6	Peça
Botoeira de pulso Franco 240V 3A cor branca	1	Peça
Botoeira de pulso Franco 240V 3A cor preta	1	Peça
Chave 3 posições Siemens 600V 5A	1	Peça

Botoeira de emergência ABB 300V 10A	1	Peça
Arduino UNO	1	Peça
<i>Display Lcd 16x2</i>	1	Peça
Potenciômetro 10kΩ	1	Peça
<i>Jumpers</i> para circuito eletrônico	20	Peça
<i>Protoboard</i>	1	Peça
Motor CA monofásico	1	Peça
Chave fim de curso <i>Micro Switch</i>	3	Peça
Sensor de fluxo SIMOKIT 1/2 polegada	1	Peça
Válvula solenoide DC 24V 1/2 polegada NF	2	Peça
Cabo PVC antichama 70°C	32	Metros
Mangueira de silicone 1/2 polegada	3	Metros
Adaptador PVC azul tipo TEE 1/2 polegada	1	Peça
Adaptador PVC azul curva com rosca interna 1/2 polegada	6	Peça

---

Fonte: Autor (2023)

## 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Características dos processos da ETE

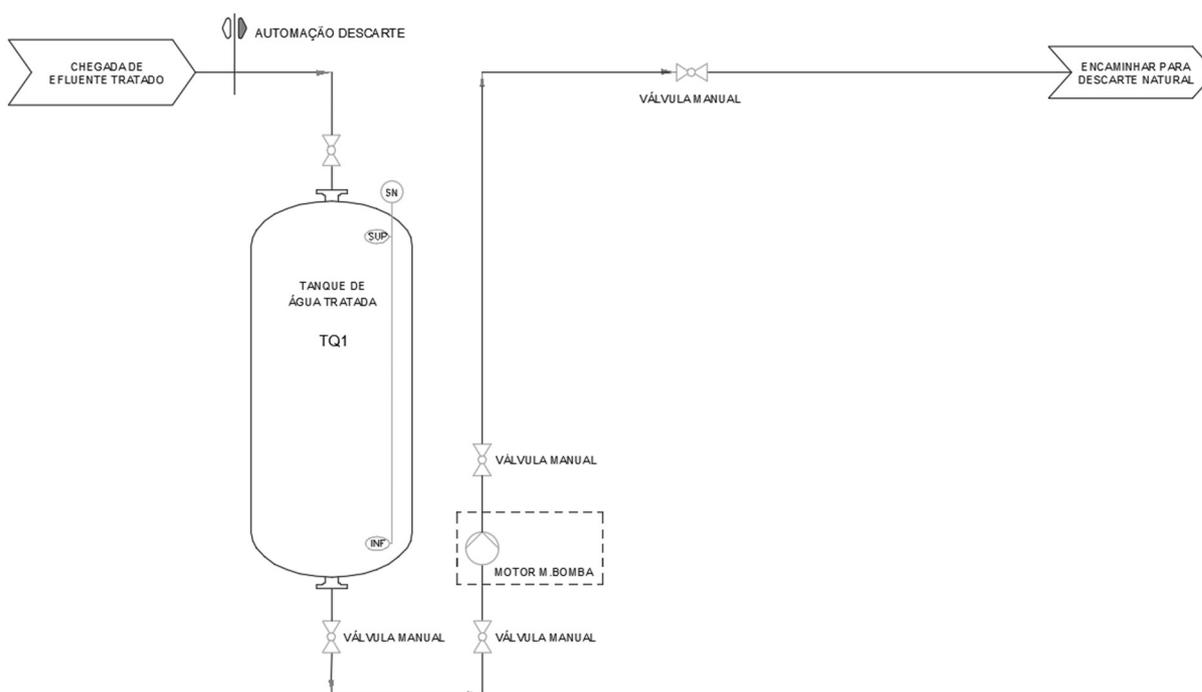
Esta seção destina-se a apresentar a coleta de dados e mapeamento do fluxograma existente envolvido no processo de descarte do efluente tratado, bem como as características do sistema de instrumentação envolvido nessa etapa.

O processo de tratamento físico-químico, também chamado de industrial, é oriundo dos processos de pintura, lavagem de máquinas e de piso. O efluente biológico, também chamado de sanitário, provém dos banheiros e restaurante da fábrica.

#### 4.1.1 Fluxograma de descarte do efluente tratado

Ao mapear o fluxograma do sistema da estação de tratamento, foi possível identificar as diferentes etapas e processos envolvidos desde a entrada até a saída do efluente. Para compreender as interações entre os instrumentos, equipamentos, tubulações e sistema de controle, foi desenvolvida a planta com a representatividade do fluxo do processo atual do sistema, conforme Figura 14.

Figura 14 - Fluxograma do processo para descarte do efluente tratado



Fonte: Autor (2023)

Analisando o sistema por meio do fluxograma, nota-se que o processo final foi identificado como “automação descarte” para melhor interpretação e análise do estudo em questão. A chegada do efluente, tratado em operações anteriores, ocorre por meio de tubulações ao tanque de água tratada denominado TQ1.

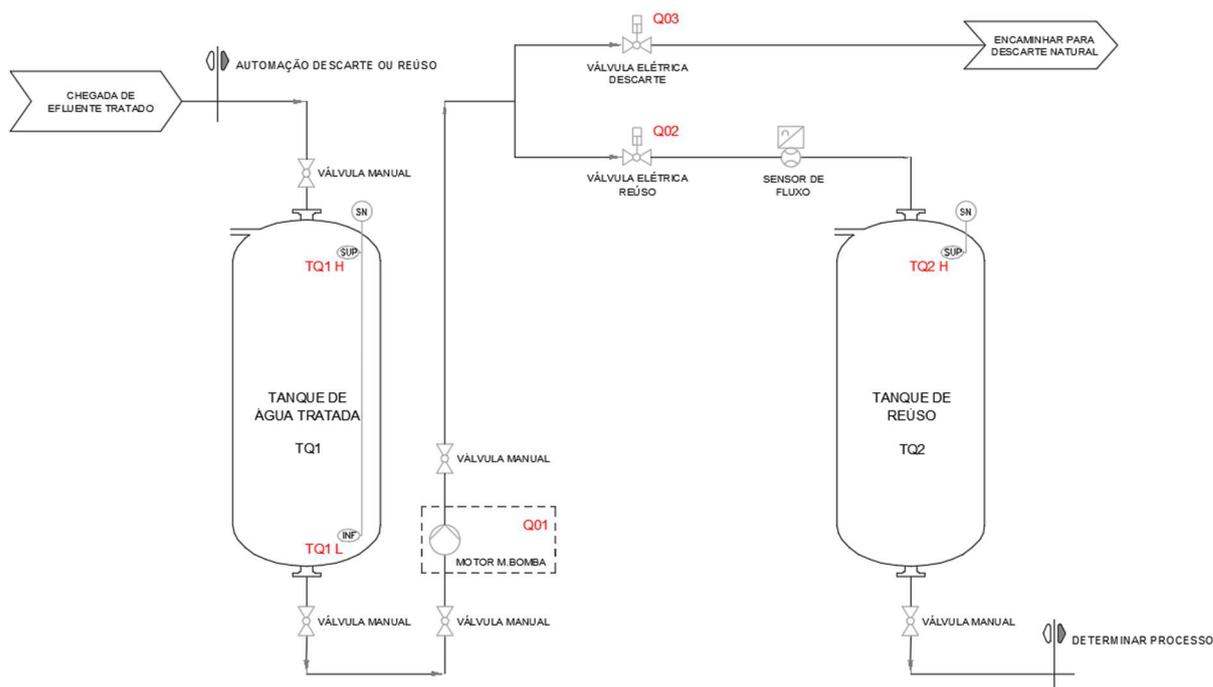
Por meio da coleta de dados, foi possível identificar que o tanque TQ1 possui chaves de nível, inferior e superior, ambas interagindo com um sistema de controle para descarte da água tratada. O procedimento para descarte do efluente passa pelas condições de nível alto, ou seja, nível do tanque TQ1 com chave superior denominada SUP acionada, além das válvulas manuais na posição aberta ao fluxo. Por meio dessa condição, o motor M. Bomba é acionado fazendo com que o descarte ocorra até que o nível alcance valores mínimos de água no tanque, ou seja, chave INF acionada.

Esse mapeamento, por meio do fluxograma da Figura 14, tornou-se ferramenta para o estudo e otimização do projeto, norteador das próximas etapas do projeto com a proposta de reuso da água tratada, identificando tecnologias adequadas à ETE.

#### **4.1.2 Fluxograma de reuso do efluente tratado**

Por meio da compreensão do fluxograma de descarte, foi possível identificar as oportunidades de melhorias e a implementação de novas etapas no processo para reuso da água tratada. Para tanto, se fez necessário adotar novos procedimentos para tratamento de dados, fazendo uso de um novo sistema de controle e monitoramento, sensoriamento e atuadores elétricos. A Figura 15 expressa a nova configuração do fluxograma, incluindo a opção de reuso de efluente em conjunto com o descarte do mesmo.

Figura 15 - Fluxograma do processo para descarte ou reúso do efluente tratado



Fonte: Autor (2023)

A nova configuração para o fluxograma proposto requer novo tratamento de dados e um sistema de controle e monitoramento. Além disso, é incluso ao processo um novo reservatório de água denominado tanque de reúso TQ2, do qual será destinado para estoque do efluente tratado a fim de direcioná-lo a um novo processo a ser definido para o reaproveitamento do efluente para fins não potáveis, tais como: limpeza de equipamentos; lavagem de pisos; descarga sanitária; refrigeração industrial; outros fins industriais.

Para atendimento à proposta, se faz necessária a leitura das chaves de nível alto e baixo do tanque TQ1, agora denominados respectivamente TQ1 H e TQ1 L. Além disso, a instalação de uma chave de nível superior no tanque TQ2, denominada TQ2 H. Também, o sistema que passa de descarte de efluente para descarte ou reúso do mesmo, e que opera de acordo com a manipulação das variáveis TQ1 H, TQ1 L, TQ2 H e motor da bomba hidráulica denominado Q01, passa a ter duas válvulas elétricas destinadas para reúso ou descarte, denominadas Q02 e Q03, respectivamente.

A fim de automatizar o controle do processo de descarte ou reúso da água tratada, foi utilizado um controlador lógico programável (CLP), do qual é responsável

pela execução das tarefas programadas de acordo com os diferentes cenários previstos nessas operações, tratados ao decorrer deste trabalho.

Para que seja possível mensurar a quantidade de efluente reutilizado, destinado aos processos industriais, foi incluído ao sistema um sensor de fluxo, realizando a leitura de vazão (l/min) e volume (L). Tal processo passa por tratamento de dados através de um microcontrolador, transferindo a resposta da leitura por meio de um *display*.

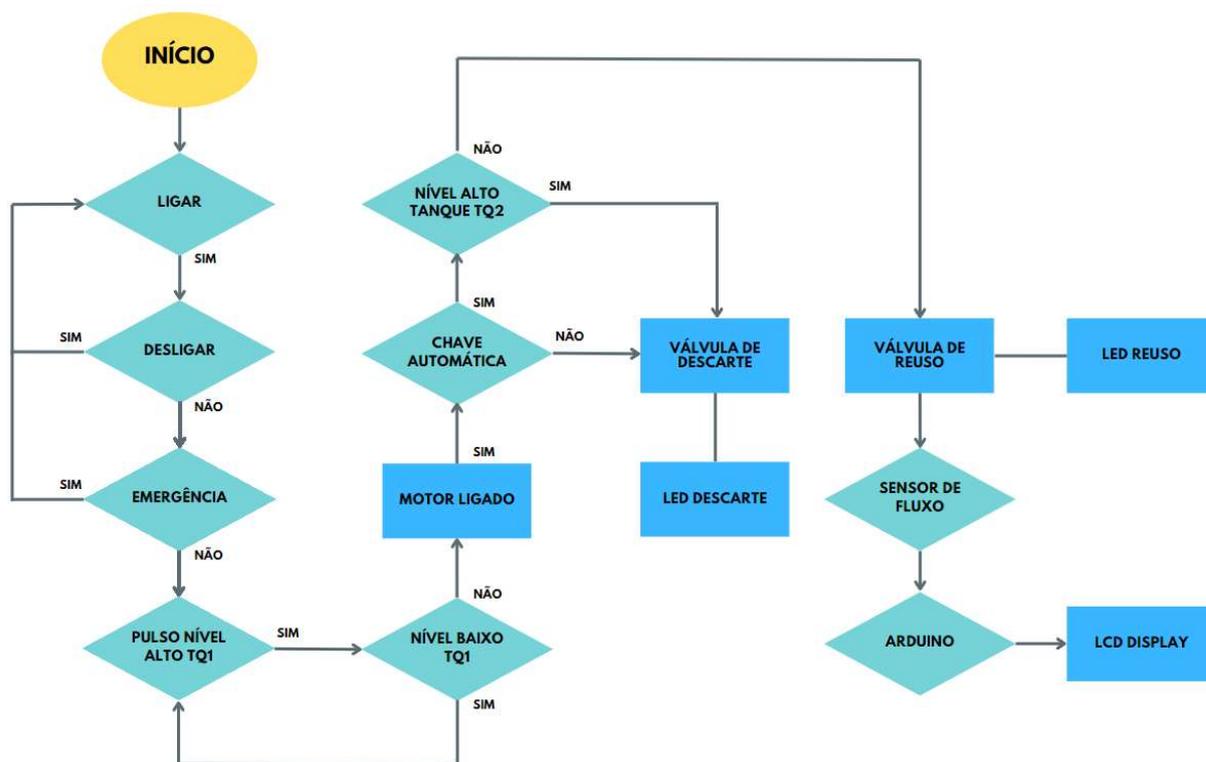
## 4.2 Prototipagem

### 4.2.1 Programação *Ladder* e simulações no CLP WEG *Clic02 Edit*

Essa seção destina-se a apresentar a linguagem de programação utilizada no presente projeto, seguindo a sequência de operações lógicas necessárias para a execução das tarefas visando o atendimento aos requisitos de funcionalidade do processo para reuso ou descarte do efluente tratado. Em síntese, é a programação responsável pela automatização do processo.

O funcionamento do sistema, disposto através do fluxograma da Figura 16, possibilitou o entendimento para desenvolver o projeto no *software Clic02 Edit* e Arduino IDE.

Figura 16 – Fluxograma da linguagem *Ladder*



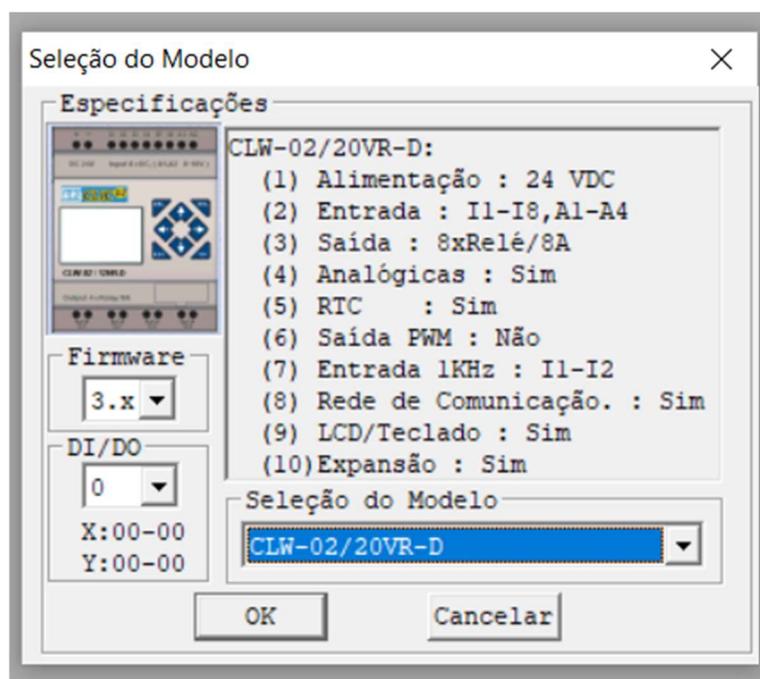
Fonte: Autor (2023)

A linguagem de programação utilizada para processamento dos dados de entrada e saída foi do tipo *Ladder*, utilizando o sistema embarcado de um controlador lógico programável da marca WEG e seu respectivo *software Clic02 Edit*. A Figura 16 representa a execução do *software* e a escolha da opção “*NEW LADDER LOGIC PROGRAM*”.

Figura 17 - Execução do software *Clic02 Edit*

Fonte: Autor (2023)

Após a execução do *software* se faz necessária a seleção do modelo de CLP a ser utilizado no projeto de acordo com as especificações do *hardware*. A Figura 17 demonstra a seleção do modelo CLW-02/20VR-D, posteriormente utilizado na prototipagem.

Figura 18 - Seleção do modelo de *hardware*

Fonte: Autor (2023)

A linguagem de programação das etapas a seguir visam o atendimento aos requisitos de projeto bem como as especificações dos blocos utilizados. A formatação das linhas de programação segue uma sequência lógica para fins de objetividade quanto ao entendimento do programador.

Com a finalidade de identificar os símbolos a serem utilizados ao decorrer das linhas de programação, respectivamente nos blocos de funções, se fez necessário nomear os mesmos conforme suas finalidades.

Bloco de identificação dos sinais de entrada, conforme Figura 18:

Figura 19 - Fluxograma do processo para descarte ou reuso do efluente tratado

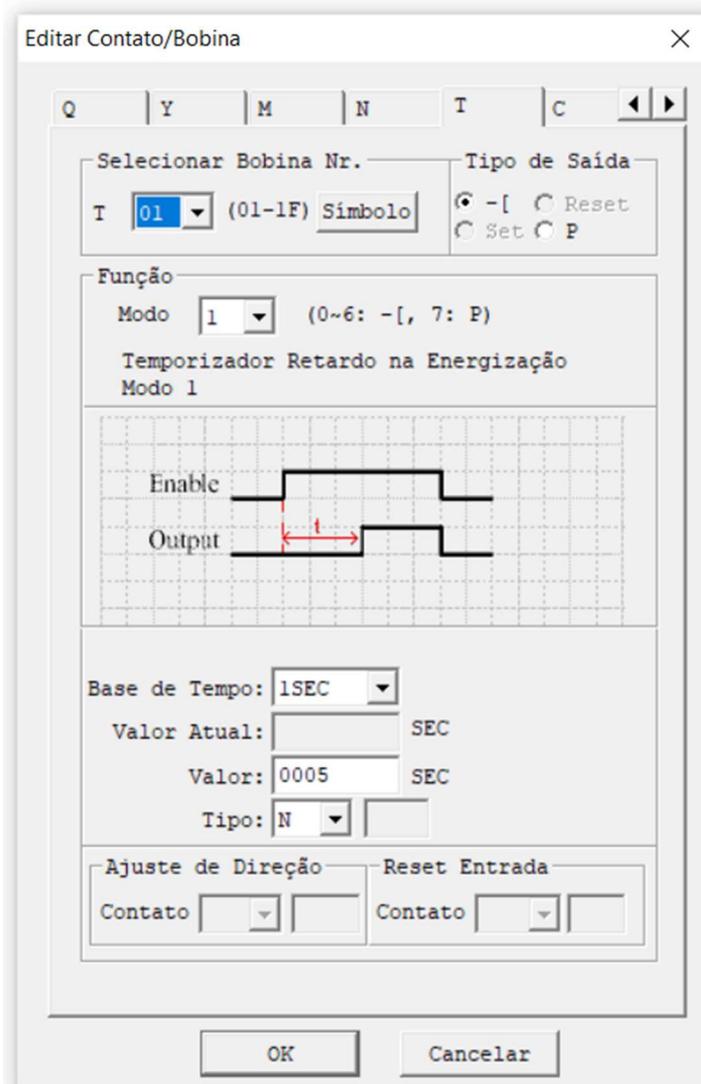
Bo.	Símbolo:	*:Ut...	*:Status
I01	<b>BT.ON</b>	*	
I02	<b>BT.OFF</b>		
I03	<b>BT.Emerq.</b>	*	*
I04	<b>Man./Aut.</b>	*	*
I05	<b>TQ1 H</b>	*	
I06	<b>TQ1 L</b>		
I07	<b>TQ2 H</b>		
I08			
I09			
I0A			
I0B			
I0C			

Fonte: Autor (2023)

Bloco de identificação dos sinais de saída, conforme Figura 19:



Figura 21 - Fluxograma do processo para descarte ou reuso do efluente tratado

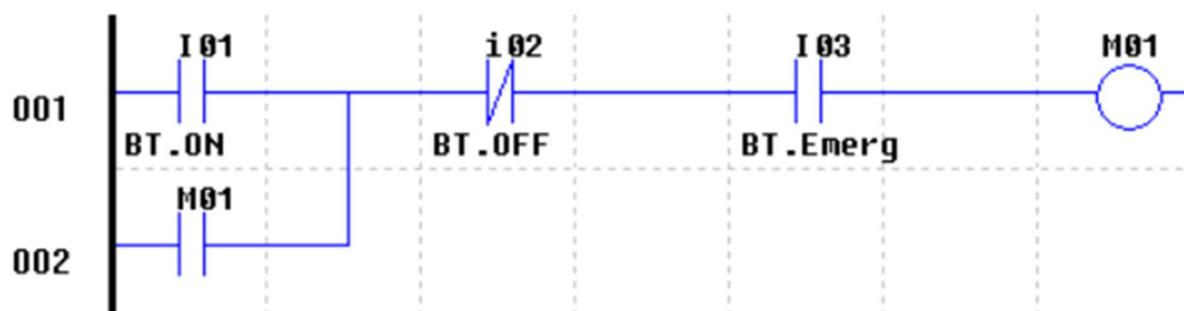


Fonte: Autor (2023)

Após nomeados os blocos de funções, dá-se início a linguagem de programação ladder por meio das linhas sequenciais.

O sistema é composto inicialmente por uma sequência de funcionalidades, havendo necessidade de ligar o sistema por meio de uma botoeira de pulso "I01" (BT.ON). Para desligar o sistema foi incluído uma botoeira de pulso "I02" (BT.OFF), e em casos emergenciais um botão de emergência "I03" (BT.Emerg). Em virtude da botoeira ser do tipo pulso, se fez necessário a inclusão da função de selo da memória "M01". As memórias são blocos de funções intrínsecas à linguagem de programação, ou seja, servem para manipulações virtuais. A Figura 21 representa as lógicas de programação, linhas 001 e 002.

Figura 22 - Linhas de programação 001 e 002



Fonte: Autor (2023)

A memória “M01”, por sua vez, aciona o relé de saída “Q04” (ON) do CLP, de acordo com a Figura 22, informando que o processo de reuso ou descarte do efluente está em condições de operação.

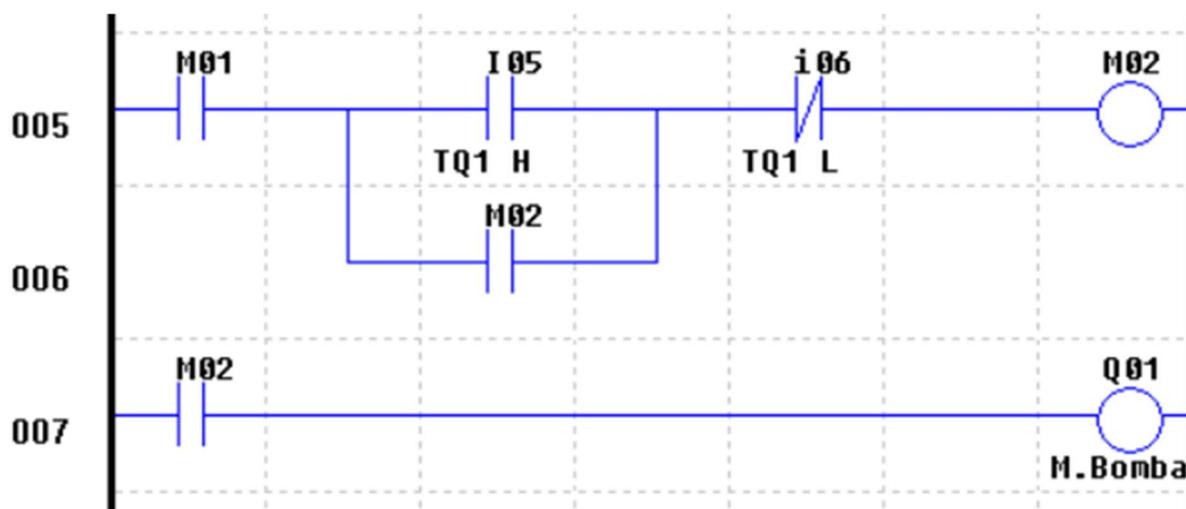
Figura 23 - Linha de programação 003



Fonte: Autor (2023)

A função memória “M01” é novamente utilizada para que, combinadas com a sequência lógica de nível alto acionado pela chave “I05” (TQ1 H) e contato fechado da chave de nível baixo do tanque “i06” (TQ1 L), aciona a função memória “M02”, selando o contato normalmente aberto. Deste modo, todas as condições são executadas para que o relé de saída “Q01” (M.Bomba) do CLP seja acionado, fazendo com que a motor efetue o exercício de bombeamento de efluente tratado do tanque “TQ1” para o tanque de reuso “TQ2” ou descarte natural, Figura 23.

Figura 24 - Linhas de programação 005, 006 e 007

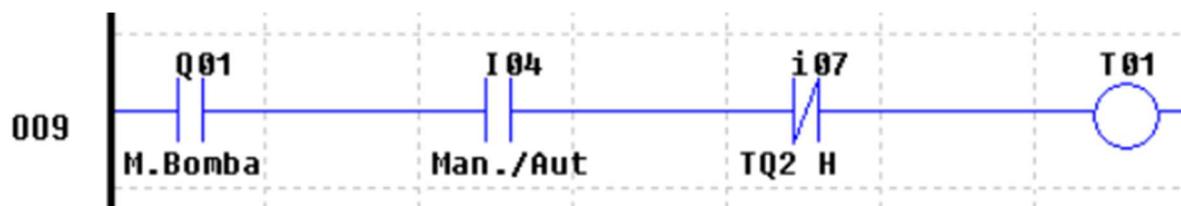


Fonte: Autor (2023)

Seguindo a lógica de programação, com a saída “Q01” ativada, automaticamente o efluente será direcionado para descarte por meio de “Q03” ativado, ou seja, a válvula elétrica passa de normalmente fechada (NF) para normalmente aberta (NA). Essa condição é válida se a chave 3 vias estiver na posição manual de seu curso, ou seja, “I04” (Man./Aut) com o bloco de função aberta, ou se o tanque de reuso “TQ2” estiver em nível alto, ou seja, “i07” (TQ2 H) ativado, fazendo com que o bloco de contato esteja em posição aberta.

Se a condição “Q01” estiver ativada, “i04” ativada em posição automática, e o nível de efluente no tanque “TQ2” não estiver em nível alto, o bloco de contato “i07” dará condições de ativar o bloco de função temporizador “T01”, conforme Figura 24.

Figura 25 - Linha de programação 009



Fonte: Autor (2023)

Ao ativar o temporizador “T01”, que passará processar o tempo de 0 a 5 segundos, ativará o bloco de memória “M03” após transcorrer este tempo, conforme Figura 25. O bloco de função temporizador foi incluído na programação a fim de que não ocorra o chaveamento intermitente se o tanque “TQ2” estiver recebendo efluente

de “TQ1” e fornecendo efluente para demais processos industriais, na mesma proporção ou menos que recebe no processo de reuso.

Figura 26 - Linha de programação 011



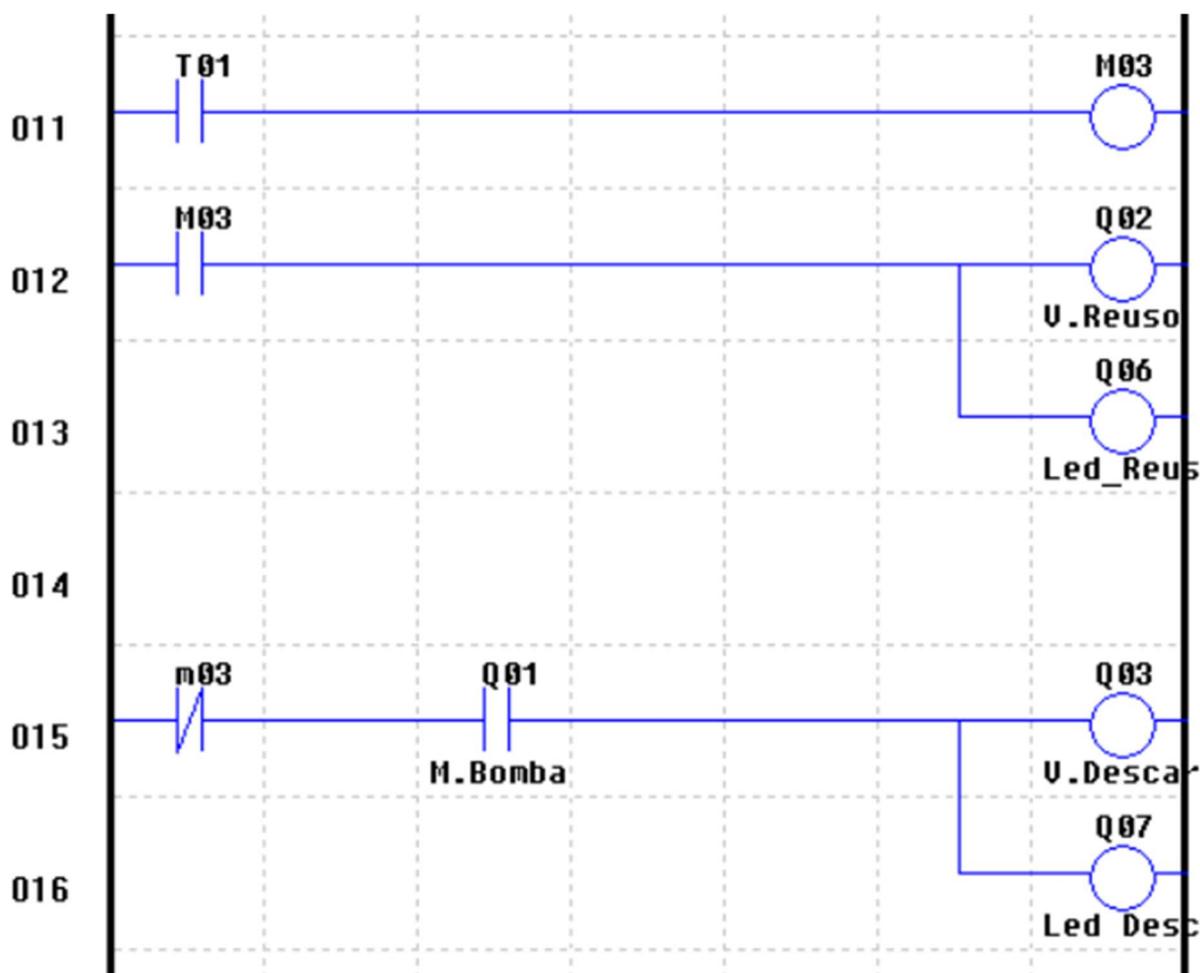
Fonte: Autor (2023)

De acordo com a Figura 26, com o bloco de função “M03” ativado, o mesmo realizará o chaveamento do relé de saída “Q02”, fazendo com que feche a válvula de reuso altera a posição de normalmente fechada para normalmente aberta, transportando o efluente do tanque “TQ1” para o tanque “TQ2”. Essa condição é válida até que a chave de nível alto “I07” (TQ2 H) seja acionada.

Ao mesmo tempo em que a válvula “Q02” é ativada, o relé de saída “Q06” também é ativado, informando o sistema por meio de um sinal luminoso que a operação está em processo de reuso do efluente.

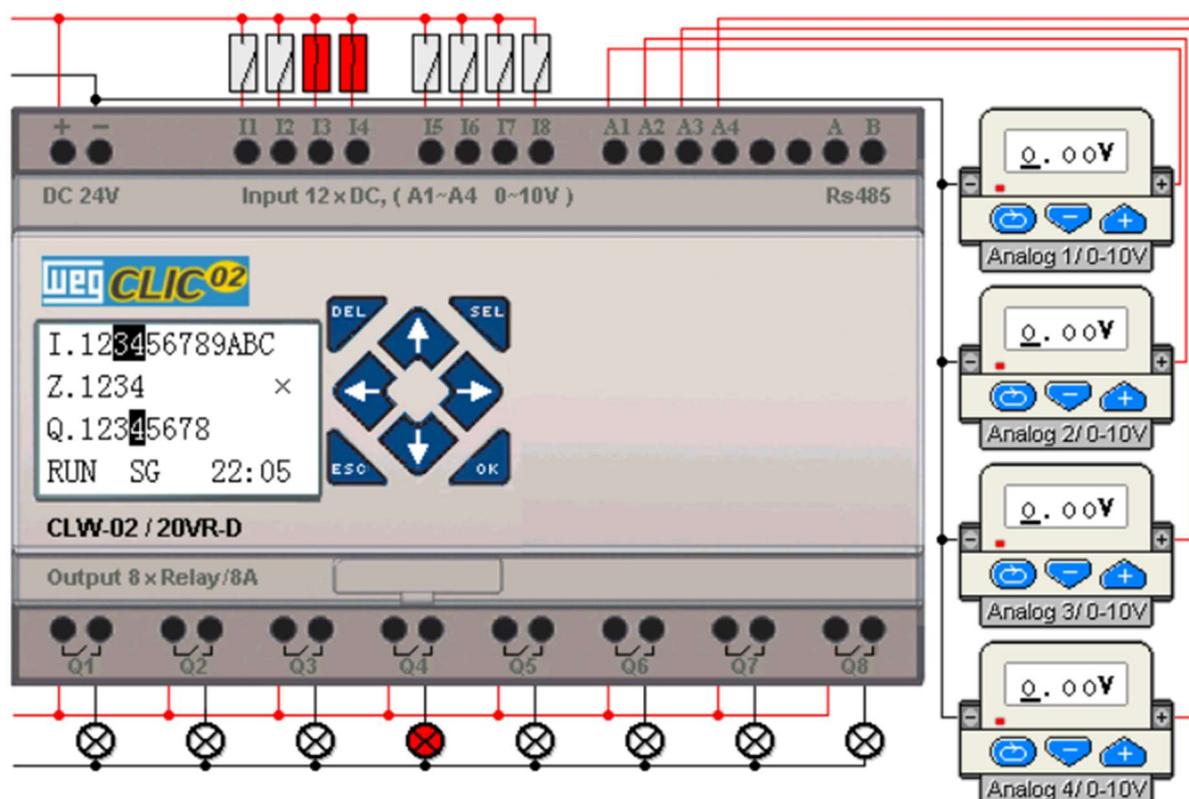
Finalizando a linguagem *Ladder* em Figura 26, seguindo a lógica de programação das condições anteriores, a linha 015 determina que o efluente será destinado à descarte, “Q03” ativado, desde que o bloco de função da memória “M03” não esteja ativado e “Q01” (M.Bomba) esteja ativado.

Figura 27 - Linhas de programação 011, 012, 013, 015 e 016



Fonte: Autor (2023)

Além de ser uma ferramenta para programação em diferentes linguagens, o *software Clic02 Edit* possibilita a realização de simulações para testar e depurar a programação sem a necessidade do *hardware*. Através do ambiente virtual, foi possível simular os diferentes cenários, manipulando os estados de entrada e monitorando os resultados de saída. A Figura 27 demonstra um exemplo para a simulação realizada com a manipulação dos dados de entrada “I1”, “I3” e “I4”, resultando na resposta de saída com “Q4” acionada.

Figura 28 - Simulação em *software Clic02 Edit*

Fonte: Autor (2023)

Por meio das simulações realizadas ao transcorrer do experimento, foi possível identificar falhas e melhorias na linguagem de programação, validando de modo virtual o projeto deste trabalho.

#### 4.2.2 Microcontrolador Arduino IDE

O sensor magnético do tipo efeito *hall* aplicado ao protótipo, Figura 31, possui um rotor que gira em velocidade proporcional ao fluxo do efluente, sendo que as pás possuem ímãs permanentes das quais interagem com o campo magnético e conseqüentemente a indução de um pulso de tensão na respectiva bobina do efeito *hall* devido à variação do fluxo magnético. O pulso de tensão é reconhecido como um sinal de entrada digital.

Diante disso, o emprego do microcontrolador Arduino UNO no presente projeto está atrelado à dificuldade de leitura direta do sensor de fluxo aplicado ao monitoramento de efluente na modelagem de processamento do *Clic02 Edit* no que se refere à linguagem de programação. Além disso, este microcontrolador, de baixo

custo comparado a outros sistemas embarcados, permite ampla variedade de recursos. Por estes fatores, o Arduino UNO foi empregado para processamento dos dados e prototipagem.

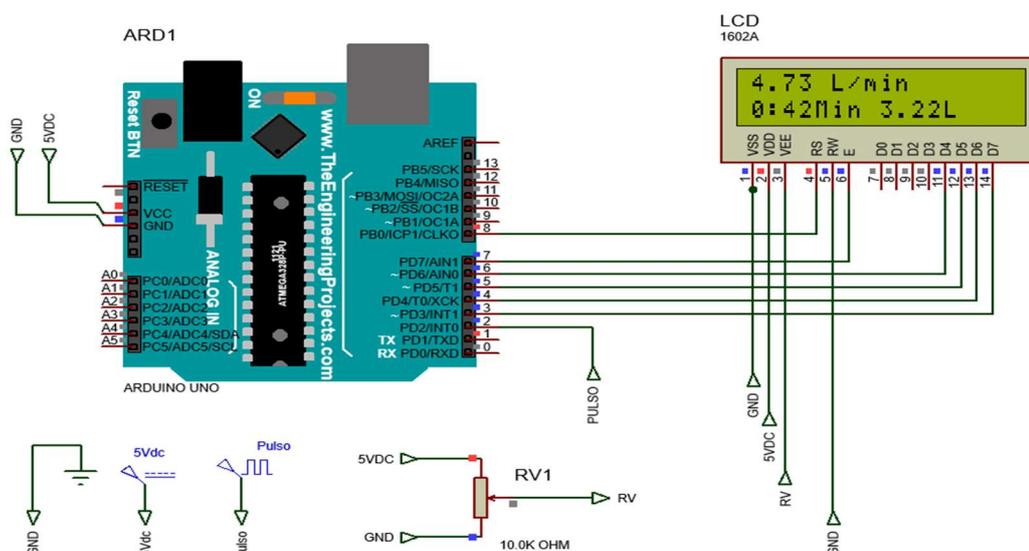
A Figura 15 determina o ponto de operação do sensor para leitura de fluxo de efluente que é reutilizado para fins de uso industrial. O Apêndice A apresenta a linguagem de programação utilizada no *software* Arduino IDE para processamento dos pulsos gerados pelo sensor de fluxo, bem como a comunicação com um *display Lcd* 1602 para visualização dos dados da leitura de vazão em L/min (litros por minuto) e volume acumulado em L (litros).

#### **4.2.3 Simulações no *Software Proteus 8 Professional***

O *software Proteus 8 Professional* é uma ferramenta de simulação virtual utilizada para projetar e testar circuitos eletrônicos. Permite integração entre diferentes dispositivos e suas respectivas linguagens de programação. Uma das principais características do *software* é a sua capacidade de simular o comportamento dos circuitos em tempo real, depurando os códigos de programação e apresentando respostas correspondentes.

Já em ambiente virtual, a programação realizada no *software* Arduino IDE, Apêndice A, foi transferida para a interface disponível na biblioteca do *Proteus*. Em seguida, foi inserido no projeto o *display LCD* 1602A para a amostragem dos dados. Para a regulagem de luminosidade do *display LCD*, foi inserido o resistor variável “RV1”. Além disso, foram inseridos os componentes *ground (GND)* e *source (5Vdc)* para alimentação do circuito eletrônico. Devido a ausência de biblioteca para inclusão do sensor de fluxo, foi utilizado um gerador de pulsos a fim de simular o comportamento do mesmo.

Por fim, foi realizada a depuração dos dados e a simulação foi representada pela Figura 28.

Figura 29 - Simulação no *Software Proteus 8 Professional*

Fonte: Autor (2023)

As simulações no *Proteus 8 Professional* serão utilizadas como base para o desenvolvimento do protótipo.

#### 4.2.4 Montagem do protótipo

Após concluir as etapas de simulação do projeto nos ambientes virtuais *Clic02 Edit* e *Proteus 8 Professional*, dá-se início ao desenvolvimento da montagem do protótipo com o objetivo de validar e iterar o projeto de pesquisa, permitindo a validação e refinamento das hipóteses do trabalho. O Anexo B demonstra o diagrama multifilar de força e comando, orientando a montagem do protótipo.

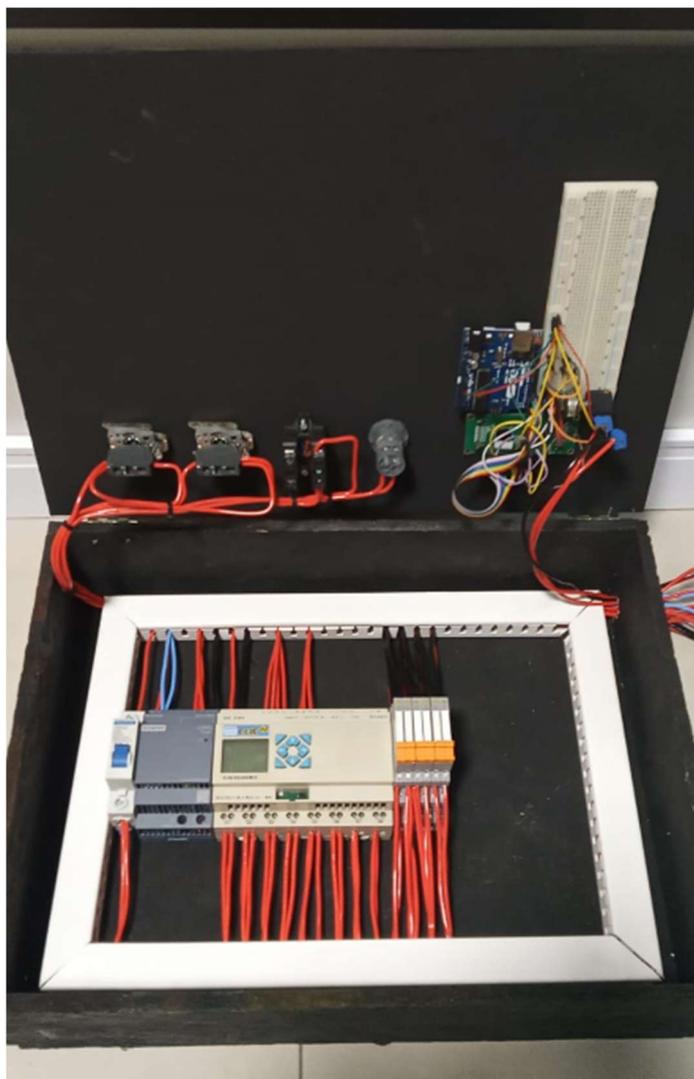
Diante das necessidades para execução do protótipo, a Tabela 2 apresenta os dispositivos utilizados para a montagem do projeto e exercem funcionalidades que atendam às simulações realizadas.

A fabricação do painel elétrico é o primeiro passo para a montagem do protótipo, é a base para a instalação e organização dos componentes elétricos. Em seguida, é realizada a fixação do trilho *din*, canaletas para acomodação dos cabos, fixação do disjuntor termomagnético monopolar e fonte de alimentação de comando DC 24V. O disjuntor e a fonte de alimentação garantem proteção e suprimento de energia adequado ao protótipo.

Em seguida é instalado o Controlador Lógico Programável e relés acopladores. Internamente, porém na porta do painel, os seguintes componentes foram instalados:

Arduino UNO e Protoboard. Após instalados todos os dispositivos é realizada a passagem de cabos e ligações. A Figura 29 mostra a disposição destes componentes.

Figura 30 - Painel elétrico de controle e automação



Fonte: Autor (2023)

Na porta frontal externa ao painel elétrico, são montados os seguintes componentes: botoeira de pulso “LIGA”, botoeira de pulso “DESLIGA”, chave rotativa “MAN./AUT.”, botoeira de emergência e *display*. As botoeiras permitem a interação do operador com o sistema de controle e automação. A protoboard oferece uma plataforma de montagem e conexão de componentes de forma temporária. O *display* oferece interface para visualização das informações e resultados do protótipo. Desta forma, conforme mostrado na Figura 30, temos a montagem dos componentes.

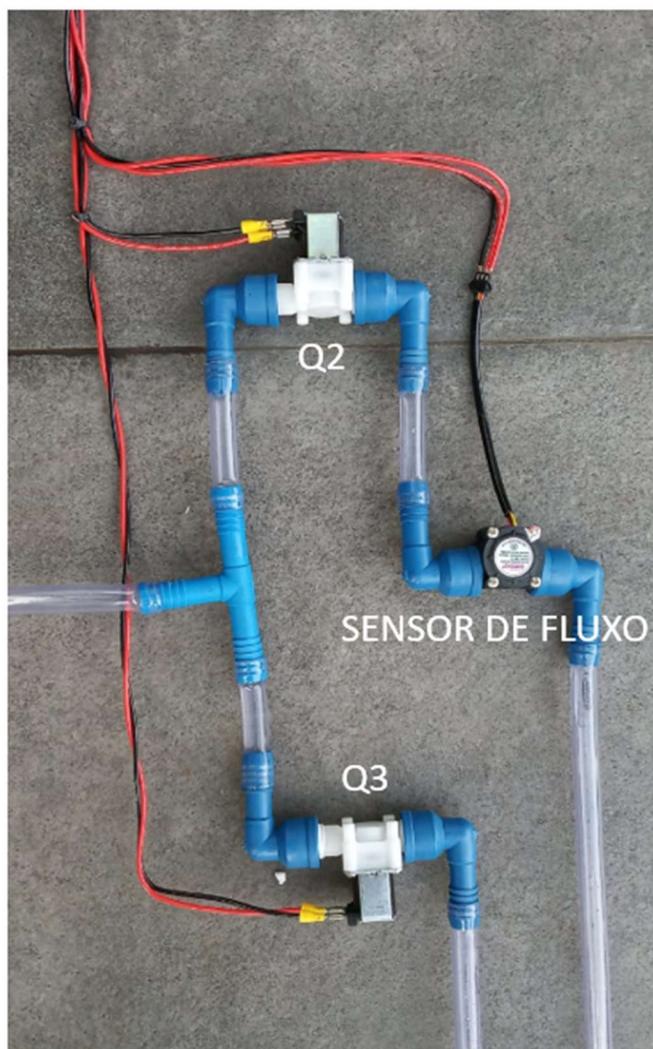
Figura 31 - Painel elétrico de controle e automação



Fonte: Autor (2023)

Seguindo as etapas de execução do protótipo, é realizada a montagem do sistema hidráulico em conjunto com a válvula de descarte (Q3) e a válvula de reuso (Q2), essa por sua vez montada com o sensor de fluxo na sequência, a Figura 31 demonstra a etapa executada. A Figura 15 auxilia no entendimento dos pontos de instalação desse sistema. Ao concluir essa etapa, é realizada as devidas ligações elétricas de comando.

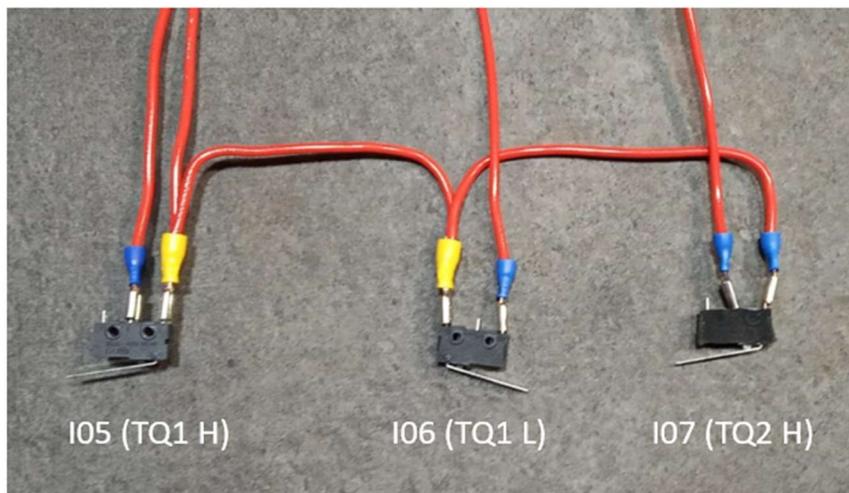
Figura 32 - Sistema hidráulico, válvulas e sensor de fluxo



Fonte: Autor (2023)

Por fim, é realizada a montagem do sistema de controle de nível do efluente por meio das microchaves dos tanques “TQ1” e “TQ2”. O modelo utilizado neste projeto é somente para fins de simulações. A Figura 32 detalha a montagem dos dispositivos.

Figura 33 - Sistema de controle de nível por microchaves



Fonte: Autor (2023)

Para que o sistema de bombeamento exercesse sua função para transporte do efluente fosse transportado do tanque “TQ1” para descarte ou reuso no tanque “TQ2”, foi utilizado um motor submersível para fins de simulação, de acordo com a Figura 33.

Figura 34 - Motor para bombeamento do efluente



Fonte: Autor (2023)

Ao término da instalação dos equipamentos é realizada as ligações elétricas de comando, respeitando a cor vermelha para tensão contínua 24V (positivo) e a cor preta para tensão 0V (negativo), fechando assim o ciclo da montagem do protótipo.

#### 4.2.5 Realização de testes

Os procedimentos para a execução foram realizados seguindo uma sequência lógica de operações, ou seja, conforme a linguagem de programação. Sendo assim, quatro etapas sequenciais foram realizadas ao decorrer do experimento. A primeira, segunda e a terceira etapa compreendem as validações quanto à programação realizada no CLP, enquanto a quarta etapa compreende a certificação da programação do Arduino.

As tabelas com a amostragem dos testes foram organizadas de acordo com as condições do sistema no cabeçalho. No corpo das tabelas são identificadas as condições e respostas, configuradas como operação ligada (1) e operação desligada (0).

A primeira etapa dos testes, Tabela 3, compreende a energização do sistema e as sequências de operações para as condições I01 (BT.ON), I02 (BT.OFF), I03 (BT.Emerg.) e Q4 (ON) para a resposta de saída.

Tabela 3 - Primeira etapa de operações dos testes

I01	I02	I03	Q4
0	0	0	0
1	0	0	1
1	1	0	0
1	1	1	0
1	0	1	0

Fonte: Autor (2023)

A segunda etapa, Tabela 4, identifica as condições Q4 (ON), I05 (TQ1 H) e i06 (TQ1 L) como condições do sistema e Q1 (M.Bomba) para a resposta de saída.

Tabela 4 - Segunda etapa de operações dos testes

Q4	I05	i06	Q1
0	0	0	0
1	1	0	1
1	0	1	0

Fonte: Autor (2023)

A terceira etapa, Tabela 5 , identifica as condições Q1 (M.Bomba), I04 (Man./Aut.) e i07 (TQ2 H) como condições do sistema e Q2 (V.Reuso), Q6 (Led Reuso), Q3 (V.Descarte) e Q7 (Led Descarte) para a respostas de saída, observando que a condição dada como |1/0| é caracterizada como indiferença.

Tabela 5 - Terceira etapa de operações dos testes

Q01	I04	i07	Q2	Q6	Q3	Q7
0	1/0	1/0	0	0	0	0
1	0	1/0	0	0	1	1
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	0	0	1	1

Fonte: Autor (2023)

Por fim, a quarta etapa de realização dos testes abrange os resultados esperados quanto à linguagem de programação e montagem do circuito eletrônico. A interface de visualização por meio de um display permite o acompanhamento em tempo real da leitura de vazão (*L/min*), volume (*L*) e tempo de operação do sistema. A Figura 34 retorna o processamento dos dados.

Figura 35 - Imagem do *display*



Fonte: Autor (2023)

As linguagens de programação realizadas nos *softwares Clic02 Edit* do controlador lógico programável e Arduino IDE, além da montagem do circuito eletrônico no *software Proteus*, se mostraram eficazes diante das simulações.

O desenvolvimento da montagem e posteriormente a realização dos testes para validação do protótipo foi fundamental para ratificar os resultados obtidos por meio das simulações.

Os procedimentos adotados para a realização do protótipo serviram para afirmar as hipóteses deste trabalho. Por meio da análise e discussões dos resultados foi possível atingir os objetivos propostos neste presente projeto e responder o problema de pesquisa.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento de um sistema automatizado de monitoramento e controle para reaproveitamento de efluentes industriais tratados foi o objetivo deste projeto, tendo como hipóteses a aplicação de sistemas embarcados o Controlador Lógico Programável e o microcontrolador Arduino UNO para a solução do problema de pesquisa.

A instrumentação industrial e a seletividade definiram o controle, atuação e o registro de dados, mostrando-se eficaz diante dos testes de simulação na prototipagem. No entanto, para a aplicação na indústria a substituição de alguns dispositivos se mostra necessário para maior confiabilidade do sistema, tais como o sensor de fluxo, as válvulas elétricas, o sistema embarcado Arduino e o LCD *display*.

A definição do Controlador Lógico Programável *Clic02* como dispositivo para gerenciamento do sistema do controle direcional do efluente mostrou-se eficaz, possibilitando a integração entre os instrumentos utilizados na prototipagem, com ressalva do sensor de fluxo utilizado, do qual foi necessário fazer uso do Arduino para a leitura do sinal digital devido suas características de operação. Com uma plataforma de linguagem e programação de fácil acesso, o CLP *Clic02 Edit* foi a ferramenta que proporcionou o desenvolvimento do projeto de pesquisa, além de dispor de simulador integrado ao *software*.

Além disso, a utilização do microcontrolador Arduino UNO proporcionou a amostragem dos dados diante da operação do processo em um *display*, realizando a leitura de vazão e volume em tempo real de uma maneira satisfatória, no entanto a sua aplicação na indústria ainda é discutida pois é um sistema embarcado para prototipagem.

A aplicação industrial quanto ao uso de um sensor de fluxo analógico possibilitaria a substituição do sistema embarcado Arduino pelo Controlador Lógico Programável *Clic02 Edit* para a leitura do sinal. Enquanto o LCD *display* poderia ser substituído por um sistema supervisão para registro e acompanhamento dos dados, apontando como sugestões deste trabalho de pesquisa, visando maior confiabilidade diante da operação do sistema de reaproveitamento do efluente.

De forma geral, diante dos objetivos traçados e desafios enfrentados ao longo do desenvolvimento do trabalho, o projeto de pesquisa foi concluído com êxito,

fornecendo resultados e sugestões de melhoria para trabalhos futuros, além de contribuir para a evolução dos conhecimentos.

## REFERÊNCIAS

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 201 p.

ARDUINO. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>. Acesso em: 19 jun. 2023

CASTRO, Rafaela de Almeida. **MONITORAMENTO DE EFLUENTES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA E AMBIENTAL**. Orientador: Paulo Luiz da Fonseca, D.Sc. 2022. 68 f. PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO I (Graduação em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, Niterói, 2022. Disponível em: [https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2022/03/Artigo\\_monitoramento-de-efluentes-em-estacoes-de-tratamento-de-esgotos\\_uma-abordagem-sistemica-e-ambiental..pdf](https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2022/03/Artigo_monitoramento-de-efluentes-em-estacoes-de-tratamento-de-esgotos_uma-abordagem-sistemica-e-ambiental..pdf). Acesso em: 9 jun. 2023.

DUNN, William C.. **FUNDAMENTOS DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL E CONTROLE DE PROCESSOS**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 326 p.

FERRARI [et al.]. **INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS**. Porto Alegre: Sagah Educação S.A., 2021. 172 p.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 7. ed. [S.l]: Erica, 2010. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang\\_pt&id=34qwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP3&dq=instrumenta%C3%A7%C3%A3o+industrial&ots=ZZXN\\_ABgg0&sig=aJNB7GDxKgYhEs5rk4B-LJgFAO8#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=34qwDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP3&dq=instrumenta%C3%A7%C3%A3o+industrial&ots=ZZXN_ABgg0&sig=aJNB7GDxKgYhEs5rk4B-LJgFAO8#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 29 nov. 2022.

FRANCHI, Claiton M.; CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Controladores Lógicos Programáveis**. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2020. E-book. ISBN 9788536533605. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536533605/>. Acesso em: 10 mai. 2023.

GARCIA, Claudio. **CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**: estratégias convencionais. São Paulo: Blucher, 2017. 600 p. Disponível em:

GIL, A. C. 2002, **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Atlas.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIORDANO, Gandhi et al. **Tratamento e controle de efluentes industriais**. Revista ABES, v. 4, n. 76, p. 1-84, 2004. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50511334/Apostila\\_Tratamento\\_de\\_efluentes\\_industriais\\_original-libre.pdf?1479952190=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTRATAMENTO\\_E\\_CONTROLDE\\_EFLUENTES\\_INDUS.pdf&Expires=1670377813&Signature=gSjrFFy944IzFymi-LZoNQ7X-dr43LKpQWm~5QY7cts5Z3FAoeGDZka-fww~S0plrAjAc3WPt86jNCffN1s9G0suka9NqaHaYcEF4aFFaHipF0LEE9eInWTwWpseOv6gw0OKgg4CnQERz90CwXBX1NLzxlUBTqB-rolyGDSi7kDikuTcvK2p9AI032BYMrx8jelFtrz0dBmwpKU7RgSTXTckQBi3gBEY75xg056Op-HP-JNvQfWekUrGf0nU42ymyaS~CCr5b4cuWbpDzUHAIaAwCudcnarA69O-ODfEXvZYMhZg03aLkuszHA3bXVd0OA9m3g5VVChVYvk2PJ7eYzw\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50511334/Apostila_Tratamento_de_efluentes_industriais_original-libre.pdf?1479952190=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTRATAMENTO_E_CONTROLDE_EFLUENTES_INDUS.pdf&Expires=1670377813&Signature=gSjrFFy944IzFymi-LZoNQ7X-dr43LKpQWm~5QY7cts5Z3FAoeGDZka-fww~S0plrAjAc3WPt86jNCffN1s9G0suka9NqaHaYcEF4aFFaHipF0LEE9eInWTwWpseOv6gw0OKgg4CnQERz90CwXBX1NLzxlUBTqB-rolyGDSi7kDikuTcvK2p9AI032BYMrx8jelFtrz0dBmwpKU7RgSTXTckQBi3gBEY75xg056Op-HP-JNvQfWekUrGf0nU42ymyaS~CCr5b4cuWbpDzUHAIaAwCudcnarA69O-ODfEXvZYMhZg03aLkuszHA3bXVd0OA9m3g5VVChVYvk2PJ7eYzw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA). Acesso em: 06 dez 2022.

GÜLLICH, R. I. C; LOVATO, A.; EVANGELISTA, M. L. S. 2007. **Metodologia da Pesquisa: Normas para Apresentação de Trabalhos: Redação, Formatação e Editoração**. Três de Maio: SETREM. ISBN 85-99020-01-3.

[https://books.google.com.br/books?hl=pt-](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=fyxdDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA21&dq=controle+de+processos+i)

[BR&lr=lang\\_pt&id=fyxdDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA21&dq=controle+de+processos+i](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=fyxdDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA21&dq=controle+de+processos+i)

industriais&ots=SwXebAjS80&sig=0LTMBDqJR47vm0kKTFu9ULG\_MPo#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 29 nov. 2022.

JÚNIOR, Sérgio Luiz S.; SILVA, Rodrigo A. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino - Teoria e Projetos**. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2015. E-book. ISBN 9788536518152. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518152/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos. **Reuso de Água**. Barueri: Manole, 2003. 579 p. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=ATxDFRuxInUC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?id=ATxDFRuxInUC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 06 dez. 2022.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. 2012. **Metodologia do Trabalho Científico**. 7 ed. São Paulo: Atlas. ISBN 9788522448784.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do Trabalho Científico**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

MARTINS NETO, Henrique. **Tratamento de efluentes nas indústrias têxteis**. Revista Tae, São Paulo, v. 7460, n. 7460, p.01-01, 03 abr. 2014.

MIERZWA, José Carlos; HESPANHOL, Hivanildo. **ÁGUA NA INDÚSTRIA: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/%C3%81gua\\_na\\_ind%C3%BAstria/V1iXBAQAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=esta%C3%A7%C3%A3o+de+tratamento+de+efluentes&printsec=frontcover](https://www.google.com.br/books/edition/%C3%81gua_na_ind%C3%BAstria/V1iXBAQAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=esta%C3%A7%C3%A3o+de+tratamento+de+efluentes&printsec=frontcover). Acesso em: 01 dez. 2022.

MIRRI, Reinaldo Coelho [et al.]. **REUSO DA ÁGUA EM PROCESSOS QUÍMICOS: modelo integrado para gerenciamento sustentável**. 2. ed. Curitiba: Appris, 2021. 293 p. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang\\_pt&id=niA0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=re%C3%BAso+de+%C3%A1gua+em+processos+qu%C3%ADmicos&ots=Nx00SaZgbF&sig=poiFwohugezr8xTnkA6NjfhsmQ#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=lang_pt&id=niA0DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT13&dq=re%C3%BAso+de+%C3%A1gua+em+processos+qu%C3%ADmicos&ots=Nx00SaZgbF&sig=poiFwohugezr8xTnkA6NjfhsmQ#v=onepage&q&f=false). Acesso em: 06 dez. 2022.

NORMEY-RICO, Julio Elias; MORATO, Marcelo Menezes. **INTRODUÇÃO AO CONTROLE DE PROCESSOS**. São Paulo: Blucher, 2021. 708 p. Disponível em: [https://www.google.com.br/books/edition/Introdu%C3%A7%C3%A3o\\_ao\\_controle\\_de\\_processos/iJ5cEAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=controle+de+processos&printsec=frontcover](https://www.google.com.br/books/edition/Introdu%C3%A7%C3%A3o_ao_controle_de_processos/iJ5cEAAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=1&dq=controle+de+processos&printsec=frontcover). Acesso em: 01 dez. 2022.

NUSSEY, John. **Arduino Para Leigos**. [Digite o Local da Editora]: Editora Alta Books, 2019. E-book. ISBN 9788550808383. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788550808383/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

OLIVEIRA, Cláudio Luís V.; ZANETTI, Humberto Augusto P. **Arduino Descomplicado - Como Elaborar Projetos de Eletrônica**. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2017. E-book. ISBN 9788536518114. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518114/>. Acesso em: 18 jun. 2023.

PETRUZELLA, Frank D.. **Controladores Lógico Programáveis**. 4. ed. Porto Alegre: Amgh, 2014. 398 p.

SILVEIRA, Gustavo. **Sistemas de Tratamento de Efluentes industriais**. 2010. 42 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores industriais**. [São Paulo - SP]: Editora Saraiva, 2020. E-book. ISBN 9788536533247.

Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536533247/>.

Acesso em: 16 jun. 2023

TOLENTINO, Nathalia Motta de Carvalho. **Processos Químicos Industriais:** matérias-primas, técnicas de produção e métodos de controle de corrosão. São Paulo: Érica, 2015. 160 p.

**APÊNDICE A - PROGRAMAÇÃO ARDUINO**

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
float vazao; //Variável para armazenar o valor em L/min
```

```
float media = 0; //Variável para fazer a média
```

```
int contaPulso; //Variável para a quantidade de pulsos
```

```
int i = 0; //Variável para segundos
```

```
int Min = 00; //Variável para minutos
```

```
float Litros = 0; //Variável para Quantidade de agua
```

```
float MiliLitros = 0; //Variavel para Conversão
```

```
LiquidCrystal lcd(8, 7, 6, 5, 4, 3);
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  lcd.begin(16, 2);
```

```
  lcd.setCursor( 0, 0);
```

```
  lcd.print("TFC: Leitura de");
```

```
  lcd.setCursor( 0, 1);
```

```
  lcd.print(" fluxo de Agua ");
```

```
  delay(3000);
```

```
  lcd.clear();
```

```
  pinMode(2, INPUT);
```

```
  attachInterrupt(0, inpulso, RISING); //Configura o pino 2(Interrupção 0) interrupção
```

```
}
```

```
void loop () {
```

```
  contaPulso = 0; //Zera a variável
```

```
  sei(); //Habilita interrupção
```

```
  delay (1000); //Aguarda 1 segundo
```

```

cli(); //Desabilita interrupção

vazao = contaPulso / 5.5; //Converte para L/min
media = media + vazao; //Soma a vazão para o calculo da media
i++;
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(vazao); //Escreve no display o valor da vazão
lcd.print(" L/min "); //Escreve L/min
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(Min);
lcd.print(":"); //Escreve :
lcd.print(i); //Escreve a contagem i (segundos)
lcd.print("Min "); //Escreve :
MiliLitros = vazao / 60;
Litros = Litros + MiliLitros;
lcd.print(Litros);
lcd.print("L ");

// Neste conjunto de linhas fizemos a média das leituras obtidas a cada 1 minuto
if (i == 60) {
  Min++;
  lcd.print(Min);

  if (Min >= 60) {
    Min = 0;
  }
  media = media / 60; //faz a média
  Serial.print("\nMedia por minuto = "); //Imprime a frase Media por minuto =
  Serial.print(media); //Imprime o valor da media
  Serial.println(" L/min - "); //Imprime L/min
  media = 0; //Zera a variável media para uma nova contagem
  i = 0; //Zera a variável i para uma nova contagem
}
}

```

```
void incpulso () {  
    contaPulso++; //Incrementa a variável de pulsos  
}
```

## APÊNDICE B – DIAGRAMA MULTIFILAR DE FORÇA E COMANDO

