

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

FERNANDO APARECIDO DOS SANTOS LIMA

**PROJETO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE DOSAGEM DE ÁCIDO  
FLUOSSILÍCICO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA  
2018

FERNANDO APARECIDO DOS SANTOS LIMA

## **PROJETO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE DOSAGEM DE ÁCIDO FLUOSSILÍCICO**

Monografia de Especialização, apresentada ao Curso de Especialização em Automação Industrial, do Departamento Acadêmico de Eletrônica – DAELN, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA  
2018



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Curitiba

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrônica  
Curso de Especialização em Automação Industrial



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE DOSAGEM DE ÁCIDO FLUOSSILÍCICO

por

FERNANDO APARECIDO DOS SANTOS LIMA

Esta monografia foi apresentada em 29 de Novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Valmir de Oliveira  
Orientador

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Membro titular

---

Prof. M. Sc. Omero Francisco Bertol  
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por iluminar os meus caminhos e permitir que pudesse ter chegado até aqui.

À minha querida esposa Jana, pelo auxílio intelectual e espiritual, e pelo incansável apoio na realização dos meus sonhos.

Aos meus pais e familiares, os quais sempre estiveram ao meu lado e foram o meu amparo nesta jornada.

Ao professor Valmir de Oliveira, por aceitar orientar este trabalho e pelo tempo despendido na correção.

A todos os professores do curso de especialização, por compartilharem seus conhecimentos e experiências.

## RESUMO

LIMA, Fernando Aparecido dos Santos. **Projeto para automatização de dosagem de ácido fluossilícico**. 2018. 36 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A adição de produtos químicos realizados no processo de tratamento de água é uma atividade que exige confiabilidade e minucioso controle. Esta condição impõe ao setor de saneamento o emprego de tecnologias que proporcionem resultados confiáveis nos seus processos. O presente trabalho tem por finalidade apresentar um projeto de automatização e controle no processo de dosagem de ácido fluossilícico em estação de tratamento de água. No projeto são indicados os componentes eletroeletrônicos específicos, os quais realizam a adição do composto químico na etapa final do processo de tratamento, garantindo maior confiabilidade. Por fim, o presente trabalho explana a metodologia utilizada, discorrendo sobre os detalhes específicos de programação e configuração dos dispositivos selecionados para realizar o automatismo do processo.

**Palavras-chave:** Automação. Flúor. Zélio.

## ABSTRACT

LIMA, Fernando Aparecido dos Santos. **Project for automating the dosage of fluosilicic acid**. 2018. 36 p. Monografia de Especialização em Automação Industrial, Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The addition of chemicals in the water treatment process is an activity that requires reliability and thorough control. This condition imposes on the sanitation sector employing technologies that provide reliable results in its processes. The present study aims to present a project of automation and control in the process of determination of fluosilicic acid in water treatment station. In the project, the specific electronics components are indicated, which perform the addition of the chemical compound in the final step of the treatment process and allow reliability. Finally, this study explains the methodology used and specific details of programming and configuration of the selected devices to perform the automatic process.

**Keywords:** Automation. Fluorine. Zelio.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relé Zelio Logic Schneider .....	14
Figura 2 - Micro medidor de vazão Omega FT300.....	16
Figura 3 - Medidor de nível Nivelco .....	16
Figura 4 - Inversor de frequência CFW08 .....	17
Figura 5 - Bomba dosadora mecânica .....	18
Figura 6 - Representação da proposta do processo de dosagem.....	20
Figura 7 - Fluxograma do processo de dosagem .....	21
Figura 8 - Tela de programação Zelio Soft.....	23
Figura 9 - Tela de configuração Zelio Soft - categoria do módulo .....	24
Figura 10 - Tela de configuração Zelio Soft - módulo de extensão .....	24
Figura 11 - Programa do projeto no Zelio Soft - entradas e saídas digitais.....	25
Figura 12 - Programa do projeto no Zelio Soft - entradas e saídas analógicas.....	26
Figura 13 - Ilustração de configuração de sensor de nível em mínimo e máximo.....	27
Figura 14 - Conversor de sinal MCR-C-UI-UI-DCI- 2810913 .....	28
Figura 15 - Esquema de ligação - conversor de sinal MCR-C-UI-UI-DCI- 2810913..	28
Figura 16 - Conversor de sinal frequência analógico DRF-FR.....	29
Figura 17 - Simulação de falha de dosagem no Zelio Soft.....	30
Figura 18 - Simulação de falha de nível baixo de tanque no Zelio Soft.....	31
Figura 19 - Simulação de sinalização com canal de vazão baixo no Zelio Soft .....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recomendação da concentração de fluoreto.....	19
Tabela 2 - Definição de entradas e saídas do projeto .....	22
Tabela 3 - Configuração de parâmetros no inversor de frequência.....	27



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ETA	Estação de Tratamento de Água
FBD	Diagrama de Blocos de Função
Hz	Hertz
IHM	Interface Homem Máquina
kHz	kilohertz
mL/min	Mili Litros por Minuto
mA	Miliampere
NF	Normalmente Fechada
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Controlador Lógico Programável
Vca	Volts Corrente Alternada
Vcc	Volts Corrente Contínua
V/F	Volts / Frequência

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 PROBLEMA .....	11
1.2 OBJETIVOS .....	11
1.2.1 Objetivo Geral .....	11
1.2.2 Objetivos Específicos .....	12
1.3 JUSTIFICATIVA .....	12
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	12
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 RELÉ INTELIGENTE .....	14
2.2 MEDIDOR DE VAZÃO .....	15
2.2.1 Medidor de Micro Vazão Infravermelho FTB300 .....	15
2.2.2 Medidor de Nível Ultrassônico .....	16
2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	17
2.4 BOMBA DOSADORA .....	17
2.5 FLUORETAÇÃO .....	18
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA</b> .....	<b>20</b>
3.1 REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE DOSAGEM DE FLÚOR .....	20
3.2 DEFINIÇÃO DE ENTRADAS E SAÍDAS .....	22
3.3 PROGRAMAÇÃO EM SOFTWARE ZELIO SOFT 2 .....	23
3.4 CONFIGURAÇÃO DO SENSOR DE NÍVEL .....	26
3.5 PARAMETRIZAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA .....	27
3.6 DISPOSITIVOS AUXILIARES .....	28
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>30</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>34</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Fluoretação é o processo de adição de compostos de flúor na etapa do tratamento da água. O processo de fluoretação de águas dos sistemas públicos de abastecimento em território brasileiro tornou-se obrigatoriedade desde o ano de 1975, através da Portaria Nº 635. Esta Portaria determina que seja mantida a concentração do elemento químico dentro de valores pré-estabelecidos (BRASIL, 1975).

Segundo o Conselho Federal de Odontologia, a fluoretação de águas tem importante papel na saúde pública, sendo um dos pilares básicos para a prevenção de cárie dentária da população no Brasil (BRASIL, 2009).

No âmbito operacional, o processo de fluoretação é realizado mediante dosagem de composto de flúor na fase final do tratamento da água. Este procedimento é executado com o emprego de bombas, que podem ser do tipo: diafragma, peristáltica, pistão ou eletrônica. Também se encontram processos de dosagem sendo efetuados por meio da gravidade em tanques (REEVES, 1986).

O setor de saneamento necessita de controles minuciosos nos seus processos de tratamento e, para auxiliar nestes trabalhos, a automação surge como uma poderosa ferramenta operacional, viabilizando sistematicamente a execução de tarefas (SOUZA, 2006). Sistemas de saneamento automatizados apresentam altos índices de eficiência e precisão operacional, evitam desperdícios, geram históricos de variáveis e tomam decisões baseadas em padrões predeterminados (RUBIN, 2014).

Neste contexto, a estação de tratamento de água (ETA) a ser abordada no presente trabalho conta com parte dos seus processos automatizados. Dentre os não automatizados destaca-se o processo de dosagem de flúor. Este processo é composto por um tanque com capacidade para 12 mil litros de flúor, uma bomba dosadora eletromecânica de diafragma e um inversor de frequência que aciona a dosadora (ambos possuem equipamentos reservas instalados). Esta ETA compõe o sistema de abastecimento integrado de uma grande metrópole, e realiza o tratamento de 1800 litros de água por segundo, sendo responsável pelo abastecimento de cerca de 600 mil pessoas pertencentes a cinco cidades (SUDERHSA, 2007).

A proposta do presente trabalho é projetar um sistema de controle em malha fechada do processo de dosagem de flúor com medidores de vazão, relé lógico inteligente, inversor de frequência, painel elétrico e sinalizadores de *status* do processo.

## 1.1 PROBLEMA

Os operadores da ETA são responsáveis por ajustar manualmente os parâmetros da dosagem de flúor. Os ajustes deste processo ocorrem nas seguintes situações:

- Quando a vazão de entrada de água da ETA é alterada.
- Em análises da água pós tratada, quando esta apresenta valores fora dos limites permitidos.
- Em variações do nível do reservatório de flúor.
- Na ocorrência de falhas de bomba dosadora, inversor de frequência ou distúrbios elétricos.
- Quando há problemas hidráulicos ocasionados por obstrução ou rompimento de tubulação.

Pelo fato do ajuste ser manual, o sistema fica vulnerável a falhas humanas. Adicionalmente, a ausência de sinalização de falha no processo pode resultar em falta ou excesso de flúor na água distribuída para abastecimento da população. Neste sentido, a automatização do processo minimizaria eventuais problemas no tratamento e na qualidade da água.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho propõe um projeto de automatização e controle em malha fechada do processo de dosagem de flúor em Estação de Tratamento de Água (ETA).

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudar técnicas e conceitos de automatização de processos de dosagens;
- Analisar e levantar dados do sistema existente;
- Pesquisar equipamentos para o projeto de automatização;
- Elaborar o fluxograma do processo a ser controlado;
- Especificar equipamentos;
- Programar controlador e inversor para o processo de dosagem.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Manter um valor constante de flúor no sistema de abastecimento é uma determinação do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2018). A obtenção de tal resultado torna-se satisfatória e precisa com a adoção de ferramentas tecnológicas que realizam este trabalho. O emprego de instrumentos e dispositivos aliados com técnicas de controle automatizado em malha fechada possibilita:

- Ter precisão no cumprimento dos limites recomendados de dosagem;
- Evitar desperdício do insumo, pois o sistema será alimentado com a quantidade devida;
- Garantir a qualidade da água e a saúde pública;
- Indicar e sinalizar ao operador a existência de falhas no sistema;
- Reduzir a ocorrência de intervenções para manutenção corretiva.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho terá a estrutura apresentada na sequência:

- Seção 1 - Introdução: serão apresentados o tema, o problema, os objetivos da pesquisa, a justificativa e a estrutura geral do trabalho.
- Seção 2 - Fundamentação Teórica: serão abordados os conceitos dos dispositivos utilizados no projeto.
- Seção 3 - Desenvolvimento do Tema: serão abordados os métodos de configuração, programação e instalação dos dispositivos.

- Seção 4 - Apresentação e Análise dos Resultados: serão apresentados os resultados do projeto, juntamente com as informações colhidas no ambiente de simulação.
- Seção 5 - Considerações Finais: serão ponderados os tópicos que nortearam o desenvolvimento do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para realizar a automatização do processo de dosagem, se faz necessário compreender os aspectos operacionais do sistema. Neste contexto estão envolvidos conceitos físicos, químicos, matemáticos, entre outros, que fundamentam o desenvolvimento do trabalho. O estudo e a pesquisa de instrumentos e dispositivos integrantes do projeto, juntamente com seus princípios de funcionamento e tecnologias incorporadas, serão abordados nesta seção.

### 2.1 RELÉ INTELIGENTE

Os relés inteligentes foram desenvolvidos para o gerenciamento de pequenos projetos de automação. Com característica similar a dos grandes controladores, os relés inteligentes atendem com eficiência as demandas de automatização de processos (SCHNEIDER, 2018). A Figura 1 mostra um relé inteligente fabricado pela Schneider Electric.

**Figura 1 - Relé Zelio Logic Schneider**



Fonte: Schneider (2018).

A aplicação dos relés inteligentes supre diversas necessidades dos setores industriais, comerciais, residenciais e em automação de maquinários e processos. Por oferecer um sistema integrado de controle de dispositivos e a capacidade de comunicação em rede, estes módulos versáteis garantem controle e conectividade dos processos (EATON, 2011).

Os relés inteligentes também apresentam benefícios que são destacados: programação em *interface* própria e/ou *software*, blocos de funções que atendem

diversas aplicações, robustez, baixo custo e instalação simplificada (ALLEN-BRADLEY, 2011).

Para escolha do módulo a ser aplicado no projeto do processo, devem ser levantados os seguintes aspectos:

- Número de entradas e saídas digitais;
- Número de entradas e saídas analógicas;
- Tipos de entradas e saídas analógicas [0 a 10 Vcc, 4 a 20 mA, 0 a 20 mA].
- Protocolo de comunicação suportado pelo dispositivo.

Tendo em vista estas informações, torna-se possível selecionar o controlador ideal, buscando na família de cada fabricante o qual atenda a necessidade com a melhor relação de custo benefício (ATOS, 1999).

## 2.2 MEDIDOR DE VAZÃO

Cassiolato e Alves (2010) definem vazão como a quantidade volumétrica ou mássica de um fluido que escoar através de uma seção em uma tubulação ou canal por unidade de tempo. Este conceito físico que rege a lógica de funcionamento dos medidores de vazão é amplamente utilizado nos processos de controles industriais.

A escolha do medidor de vazão ideal implica em levantar diversos pontos, tais como: características do fluido, temperatura, taxa de vazão, diâmetro de tubulação, visualização local ou remota, tipo de sinal de controle. Fox e Macdonald (1998) ainda destacam que é necessário avaliar as condições técnicas de precisão, exatidão e faixa de medida apresentadas pelo equipamento.

### 2.2.1 Medidor de Micro Vazão Infravermelho FTB300

Um medidor de micro vazão é utilizado para a medição de pequenas vazões (na ordem de mililitros por minuto). Seu princípio de funcionamento baseia-se em rotor digital com tecnologia de infravermelho. Apresenta referência de vazão sinalizada por pulso de tensão de 5 volts em corrente contínua (Vcc) e possui exatidão aproximada de 6% (OMEGA, 2017). A Figura 2 mostra um medidor de micro vazão Omega FT300 que tem capacidade de medir vazões de 30 mL/minuto.



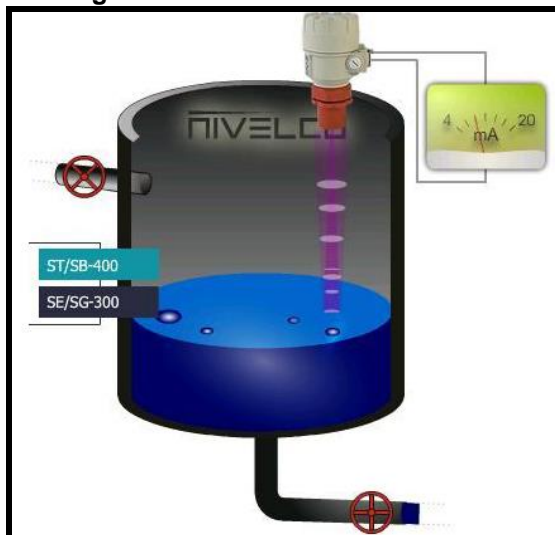
**Figura 2 - Micro medidor de vazão Omega FT300**

Fonte: Omega (2017).

### 2.2.2 Medidor de Nível Ultrassônico

Um medidor ultrassônico tem funcionamento que se baseia na emissão de pulsos de ultrassom cuja frequência de oscilação ultrapassa 20 kHz (kilohertz). Ao colidir com o meio, esta onda sonora é novamente refletida e captada pelo transdutor piezoelétrico, o qual resulta em um sinal elétrico nos seus terminais. O sensor mede o intervalo de tempo entre o pulso ultrassônico emitido e o eco recebido, e calcula a distância até o objeto utilizando a velocidade do som (HELM, 2017).

Estes medidores são utilizados na medição de nível de compostos líquidos ou sólidos armazenados em tanques, silos e reservatórios. Este medidor possui a capacidade de medir vazão em canal aberto (CONAUT, 2018). Na Figura 3 é mostrado um medidor de nível ultrassônico, fabricação Nivelco. Na mesma figura tem-se a correlação do nível, sob medição, para uma corrente entre 4 e 20 mA.

**Figura 3 - Medidor de nível Nivelco**

Fonte: CONAUT (2018).

## 2.3 INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência (Figura 4) é um dispositivo de acionamento e controle que permite a variação de velocidade e torque de motores elétricos de indução trifásicos (WEG, 2014). Este equipamento agrega no seu conjunto vários recursos e funções que possibilitam o controle eficiente e dinâmico de sistemas autônomos, sendo eles:

- Entradas e saídas digitais;
- Entradas e saídas analógicas;
- Bloco de função PID (proporcional, integral e derivativo);
- Multi velocidades;
- Proteção do motor;
- Comunicação em rede;
- Partidas em rampa;
- Detecção de distúrbios elétricos;
- Controle de torque.

Figura 4 - Inversor de frequência CFW08



Fonte: WEG (2014).

## 2.4 BOMBA DOSADORA

A transferência de fluidos fracionados nos processos industriais é alcançada com o emprego de bombas dosadoras. Estes equipamentos, além de transportar e movimentar, elevam a pressão dos líquidos incompressíveis. O controle do volume e vazão é realizado com eficiência, precisão e exatidão (LEGNER, 2013).

A bomba dosadora mecânica da Figura 5 é acionada por meio de motor elétrico, tendo a redução de rotação realizada através de redutor de engrenagem, gerando um movimento de pulso linear constante. Possui um micrômetro graduado que realiza a alteração do curso do êmbolo acionador, o qual permite o ajuste da potência de dosagem.

**Figura 5 - Bomba dosadora mecânica**



Fonte: Autoria própria.

## 2.5 FLUORETAÇÃO

A Portaria 635, do Ministério da Saúde, define fluoretação como a concentração do teor do íon fluoreto ( $G$ ) presente na água para consumo. A quantidade do composto íon fluoreto é determinado pela equação (2.1) abaixo:

$$G = \frac{22,2}{E}, \quad (2.1)$$

onde:

- $E = 10,3 + 0,725 T$ ;
- $T$  = médias de temperaturas máximas diárias observadas durante o período mínimo de 1 ano (recomendado 5 anos) em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Na Tabela 1 são apresentados os limites recomendados da concentração do íon fluoreto em função das médias das temperaturas.

**Tabela 1 - Recomendação da concentração de fluoreto**

Média das temperaturas máximas diárias do ar °C	Limites recomendados para a concentração do íon fluoreto em mg/l		
	Mínimo	Máximo	Ótimo
10,0 – 12,1	0,9	1,7	1,2
12,2 – 14,6	0,8	1,5	1,1
14,7 – 17,7	0,8	1,3	1,0
17,8 – 21,4	0,7	1,2	0,9
21,5 – 26,3	0,7	1,0	0,8
26,4 – 32,5	0,6	0,8	0,6

**Fonte: Aatoria própria.**

Riley, Lennon e Ellwood (1999) afirmam que nas últimas décadas a fluoretação das águas beneficiou proporcionalmente a população carente, pois seu impacto preventivo sobrepõe a desigualdade social. De acordo com Narvai e Bighetti (2008), nas condições brasileiras atuais, deixar de fluoretar a água para consumo deve ser considerada uma atitude juridicamente ilegal, cientificamente insustentável e socialmente injusta.

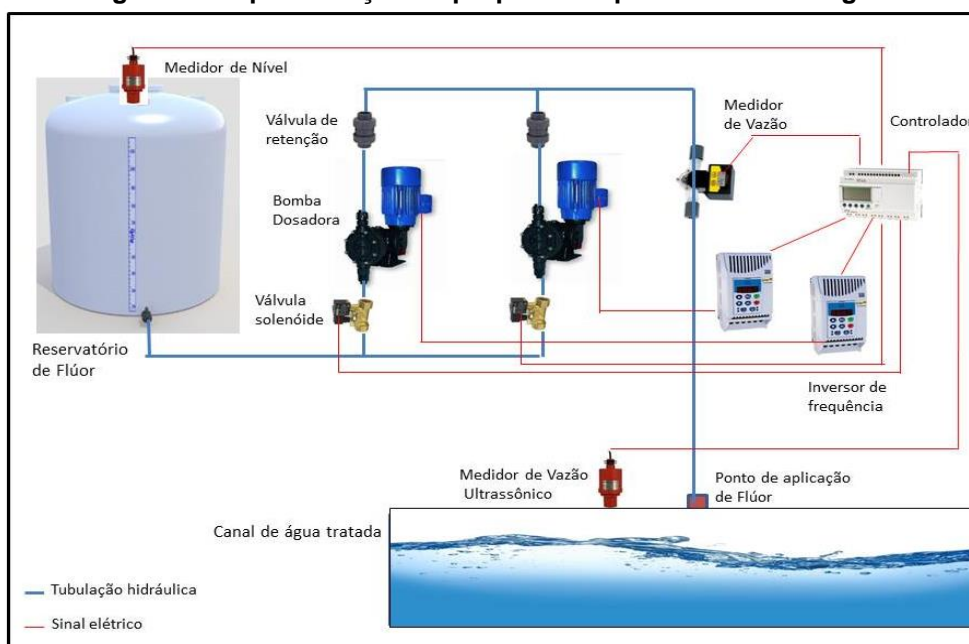
### 3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA

Nesta seção serão abordados os procedimentos e configuração de dispositivos utilizados para o desenvolvimento prático da pesquisa em questão.

#### 3.1 REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE DOSAGEM DE FLÚOR

O sistema de dosagem de flúor proposto é constituído por elementos integrados que juntos possibilitam o controle efetivo da adição do componente na água. Na Figura 6 é apresentado o *layout* do processo de dosagem proposto juntamente com os principais dispositivos responsáveis pela sua automatização. Os elementos que compõem o processo são descritos a seguir: 1 - Tanque de armazenamento de flúor; 2 - Medidor de nível ultrassônico; 3 - Válvula solenoide; 4 - Bomba dosadora; 5 - Válvula de retenção mecânica; 6 - Medidor de micro vazão de dosagem de flúor; 7 - Relé inteligente; 8 - Inversor de frequência; 9 - Medidor de vazão ultrassônico; 10 - Ponto de aplicação de flúor; 11 - Canal de água tratada.

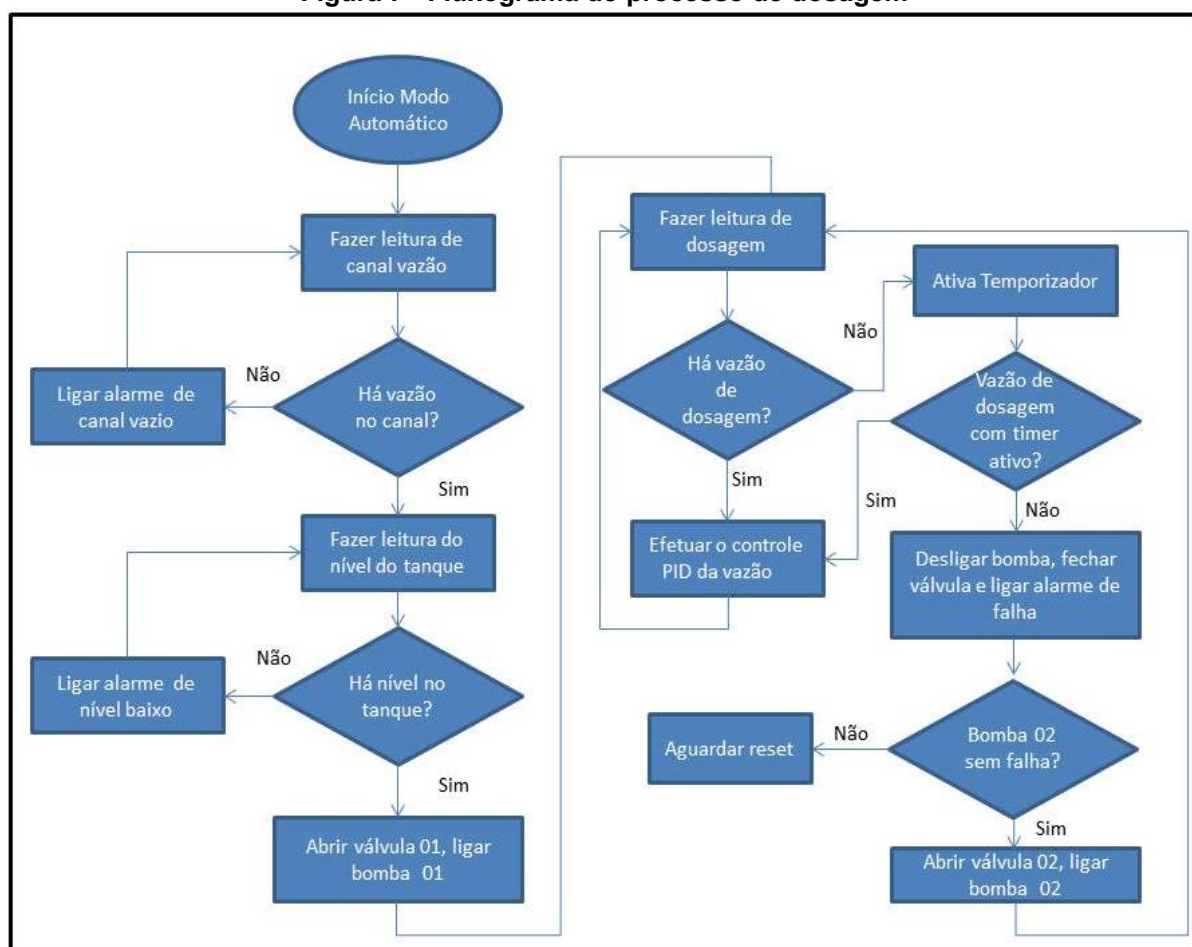
**Figura 6 - Representação da proposta do processo de dosagem**



Fonte: Autoria própria.

A automatização do processo de dosagem possui etapas distintas e interligadas que são detalhadas no fluxograma da Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma do processo de dosagem



Fonte: Autoria própria.

Para que a operação do processo inicie e permaneça ativa em modo automático, é necessário que alguns parâmetros estejam em níveis que satisfaçam tais condições. Inicialmente é realizada a leitura dos valores do canal de vazão de entrada. O valor deste ponto determinará a quantidade de produto a ser aplicado no processo. Na ausência deste, ativa-se o alarme de canal vazio e a bomba de dosagem é desligada ou impedida de ligar. Havendo vazão, efetua-se a medição do nível do tanque. Se detectado condição de nível do tanque baixo (entre 20 e 5%), o alarme correspondente é ativado e o sistema liberado para operar. Caso o nível fique abaixo de 5%, o alarme permanece ativo e o sistema é desligado ou impedido de ligar. Na ocasião das duas condições serem satisfeitas, nível de vazão mais nível de tanque, são ativadas a bomba dosadora 01 e a válvula solenoide 01 de entrada de ácido fluossilícico no processo. Com a bomba dosadora ligada, inicia-se a leitura da vazão de dosagem de flúor, a qual realimenta o controlador PID do processo. Na ausência de vazão de dosagem, um *timer* é ativado. Permanecendo esta condição

por 3 minutos ininterruptos, o sistema desliga a bomba dosadora e a válvula solenoide, e ativa o alarme de falha. Com a ocorrência desta condição de falha, a bomba dosadora 02 e a válvula solenoide 02 são ligadas, voltando o sistema na etapa de leitura de dosagem. Havendo vazão de dosagem, o processo operará normalmente. Caso contrário, com a ausência de vazão de dosagem, a bomba 02 e a solenoide 02 são desligadas, ocorrendo a ativação do alarme de falha e impedindo o religamento automático.

### 3.2 DEFINIÇÃO DE ENTRADAS E SAÍDAS

A automatização do processo prevê o emprego de dispositivos que tem a tarefa de realizar a sinalização, controle, acionamento e monitoramento do fluxo de dosagem. Os diversos sinais presentes no projeto são agrupados e definidos como entradas e saídas, digitais e analógicas. Na Tabela 2 são apresentados a função e o detalhamento de cada um destes sinais.

**Tabela 2 - Definição de entradas e saídas do projeto**

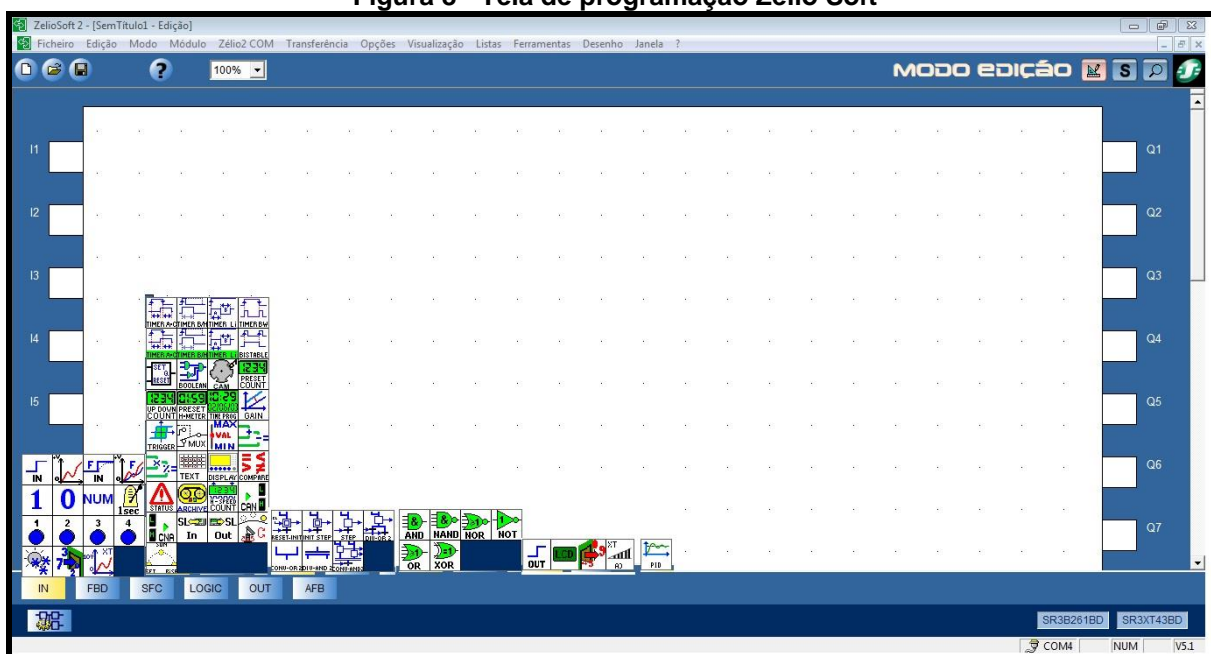
<b>Tipo</b>	<b>Função</b>	<b>Codificação</b>	<b>ID CLP</b>	<b>Tipo de Acionamento</b>
Entradas Digitais	Liga Manual	B1	I1	Chave de posição
	Liga Automático	B2	I4	Chave de posição
	Liga Bomba 01	B3	I2	Chave de posição
	Liga Bomba 02	B4	I3	Chave de posição
	Falha Bomba 01	F1	I6	Contato NA Inversor 01
	Falha Bomba 02	F2	I7	Contato NA Inversor 02
Saídas Digitais	Liga Bomba 01	LB1	Q5	Contato Inversor 01
	Liga Solenoide 01	LS1	Q7	Relé 01 acionamento Solenoide
	Liga Bomba 02	LB2	Q6	Contato Inversor 01
	Liga Solenoide 02	LS2	Q8	Relé acionamento Solenoide
	Nível Baixo tanque 01	NBT01	Q1	Lâmpada de sinalização e sirene
	Falha Canal Vazio	FCV	Q4	Lâmpada de sinalização e sirene
	Falha Bomba 01	FLB01	Q2	Lâmpada de sinalização e sirene
Falha Bomba 02	FLB02	Q3	Lâmpada de sinalização e sirene	
Entradas Analógicas	Nível Tanque 01	LT1	ID	Sensor de nível sinal 0 a 10 V
	Vazão canal	FT01	IA	Sensor de vazão sinal 0 a 10 V
	Vazão de dosagem	FT02	IB	Sensor de vazão sinal 0 a 10 V
Saídas Analógicas	Controle Inversor 01	INV01	QB	Sinal tensão 0 a 10 V
	Controle Inversor 02	INV02	QC	Sinal tensão 0 a 10 V

**Fonte: Autoria própria.**

### 3.3 PROGRAMAÇÃO EM SOFTWARE ZELIO SOFT 2

O aplicativo utilizado para programar a família de controladores *Zelio Logic Smart Relay* foi o *Zelio Soft 2 Programming*, cuja tela de programação é mostrada na Figura 8. Este *software* permite programar nas linguagens de programação *Ladder* ou FBD (Diagrama de Blocos de Função). Possui modo de edição com *interface* intuitiva e ilustrativa das entradas e saídas dos módulos escolhidos para o projeto. Contém ambiente de simulação que realiza a apresentação virtual do programa. Também realiza *upload* e *download* dos programas com monitoramento *online* do módulo controlador.

Figura 8 - Tela de programação Zelio Soft



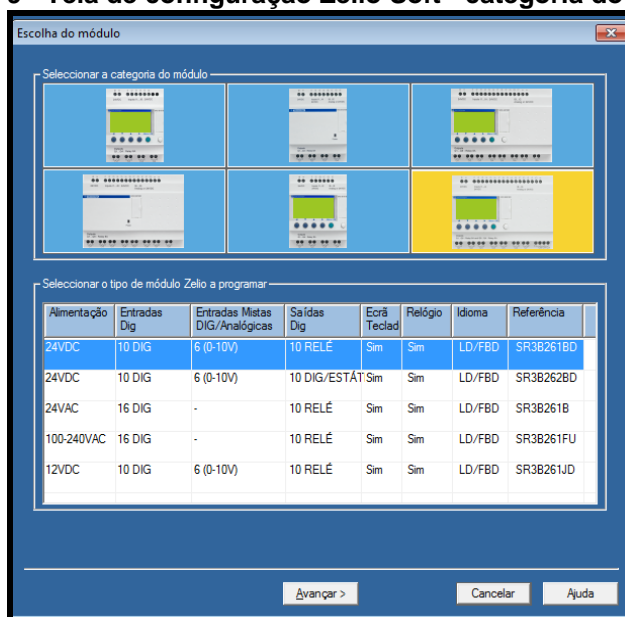
Fonte: Autoria própria.

Para iniciar a etapa de programação no *software* Zelio Soft, é necessário definir o controlador a ser utilizado no projeto. Na Figura 9 é apresentada a tela com os módulos da família Schneider SR3 disponíveis. O módulo escolhido foi o SR3B261BD, o qual contém 16 entradas, sendo elas:

- 10 entradas digitais;
- 6 entradas mistas, sendo digitais ou analógicas, com leitura de sinais de 0 a 10 volts.



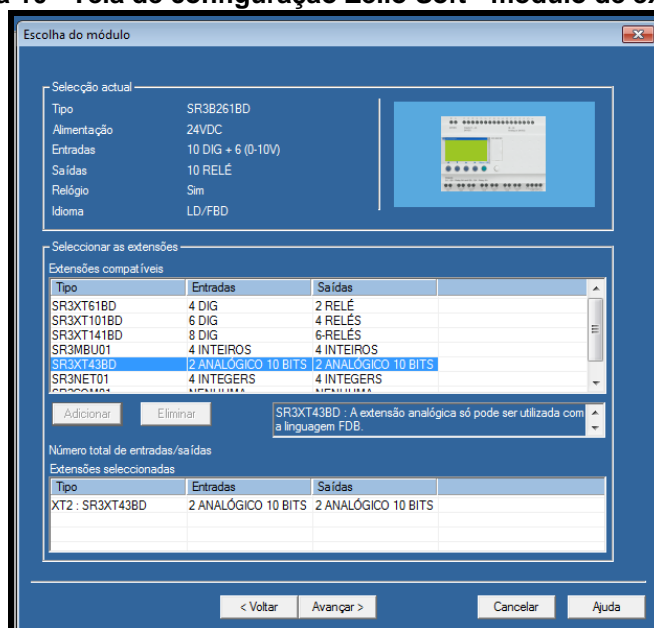
**Figura 9 - Tela de configuração Zelio Soft - categoria do módulo**



Fonte: Autoria própria.

O projeto necessita da utilização de duas saídas analógicas com tensão entre 0 e 10 volts, as quais tem a função de realizar o controle de rotação das bombas dosadoras ligadas nos inversores de frequência. Para esta funcionalidade, foi escolhido um módulo de extensão Schneider SR3XT43BD, o qual é compatível com o módulo Zelio e possui duas entradas e saídas analógicas de 0 a 10 volts. Este módulo foi inserido na etapa seguinte de configuração inicial, conforme Figura 10.

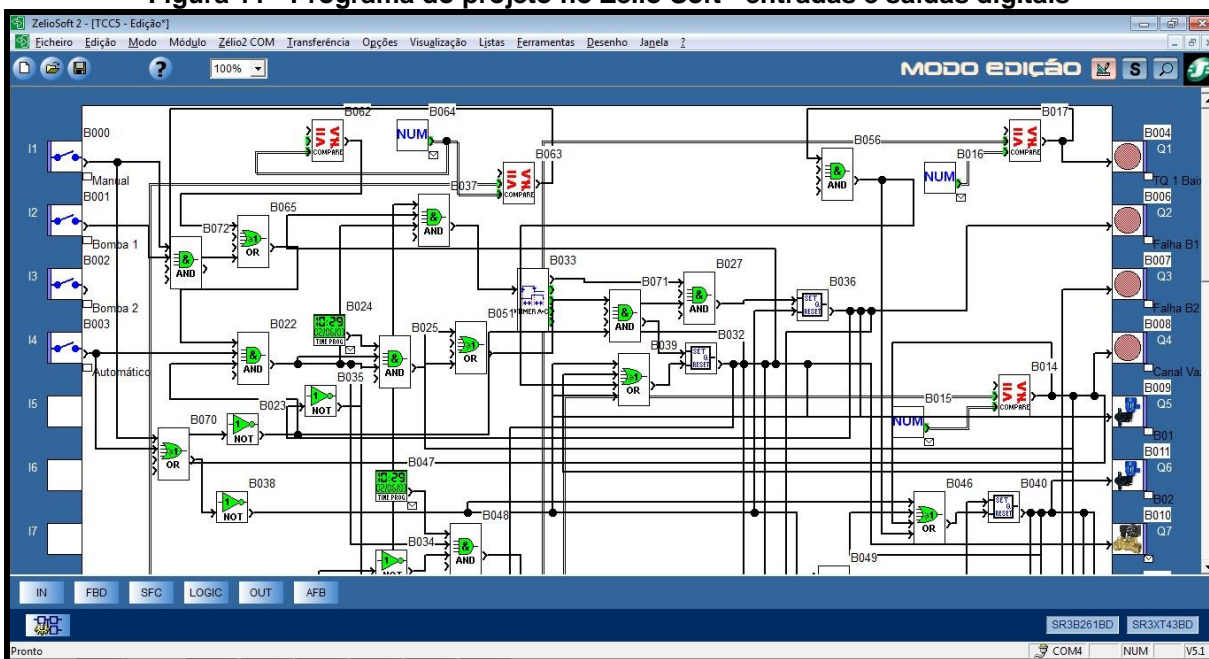
**Figura 10 - Tela de configuração Zelio Soft - módulo de extensão**



Fonte: Autoria própria.

Realizadas as etapas iniciais de seleção dos módulos, tornou-se possível iniciar a programação no software. Conforme apresentado na definição de entradas e saídas da Tabela 2, foram inseridos no programa contatos de entradas digitais e analógicas oriundas dos dispositivos pertencentes ao processo. Foram utilizados blocos lógicos, comparadores, temporizadores, constantes numéricas e blocos PID para a implementação do programa. Na Figura 11 é apresentado o ambiente de edição do Zelio Soft, onde foram inseridos os blocos e as entradas e saídas do projeto.

**Figura 11 - Programa do projeto no Zelio Soft - entradas e saídas digitais**



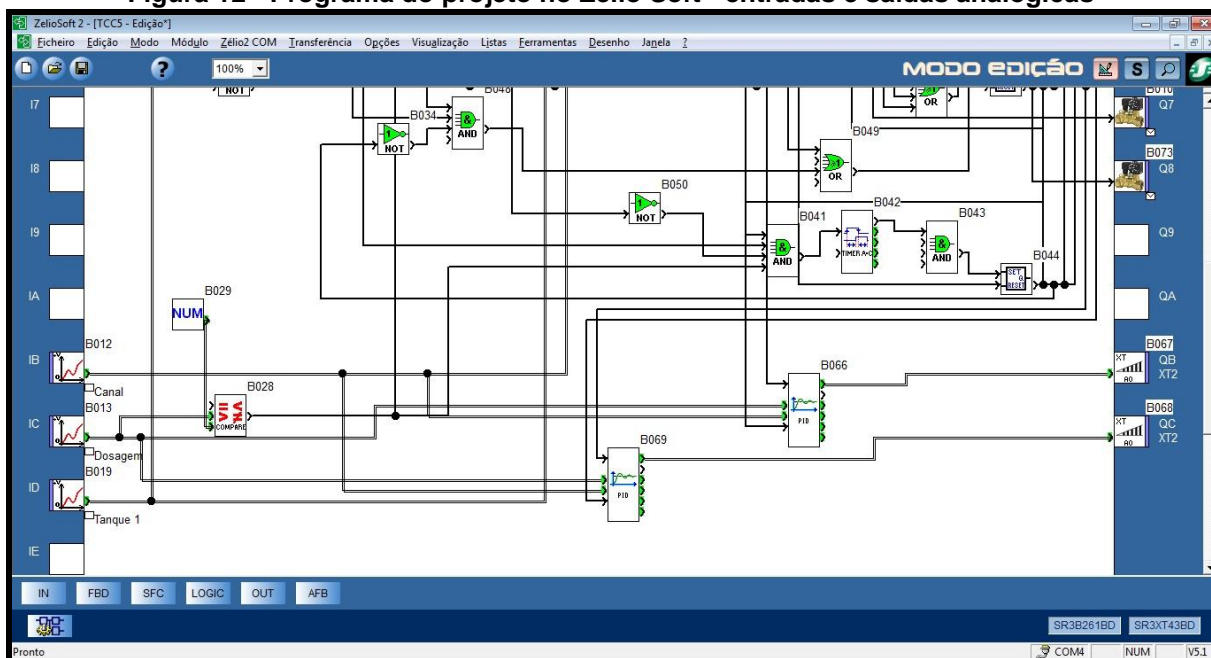
Fonte: Autoria própria.

Na aba lateral esquerda do Zelio Soft foram adicionadas as conexões das entradas digitais (I1, I2, I3 e I4), as quais estão definidas na Tabela 2 e apresentam o modo de funcionamento automático ou manual e a seleção da bomba 01 ou 02. Para o funcionamento em modo automático, acompanhou-se a lógica apresentada ainda no diagrama da Figura 7. Foram empregados os blocos de função lógica (*and*, *not*, *or*), os quais, através da lógica de intertravamento, realizam o funcionamento neste modo. Na lateral direita do programa, está a aba que contém as saídas digitais (Q1 a Q8).

As entradas analógicas foram inseridas nas entradas IB, IC e ID, as quais são apresentadas na Figura 12, na sua lateral esquerda. Na lateral direita da Figura 12 estão as saídas analógicas, as quais realizam o controle de velocidade dos

motores das bombas dosadoras. As saídas analógicas são controladas individualmente pelos blocos de função PID, os quais recebem os valores oriundos da entrada IB (vazão do canal de água) e IC (vazão de dosagem).

**Figura 12 - Programa do projeto no Zelio Soft - entradas e saídas analógicas**



**Fonte: Autoria própria.**

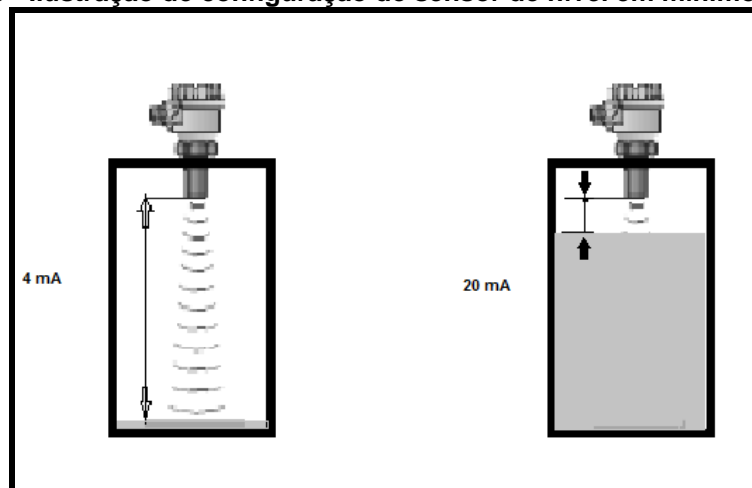
As etapas a seguir não foram executadas na prática. Contudo, foram descritas tendo como base a compatibilidade e configuração dos dispositivos informada nos manuais técnicos dos equipamentos. A implantação, configuração e ativação do sistema não foram realizadas pelo prazo restrito para apresentação do trabalho e por limitações orçamentárias da empresa.

### 3.4 CONFIGURAÇÃO DO SENSOR DE NÍVEL

Para a configuração de parâmetros do sensor de nível Echotrek da Nivelco é necessário determinar as distâncias de nível mínimo e máximo. De acordo com o manual de programação do fabricante, o sensor não necessita estar instalado no local de operação para ser configurado. Desta maneira, o sensor deve ser posicionado a um alvo fixo que corresponde à distância máxima, a qual está associada ao nível mínimo, e a este ponto determina-se o valor em corrente de 4 mA. Para o registro de nível máximo deve-se apontar para um alvo que represente a mínima distância associada ao nível máximo, ficando este valor parametrizado em

20 mA. Na Figura 13 estão ilustrados os valores de corrente para os pontos mínimos e máximos determinados para medir o nível do reservatório.

**Figura 13 - Ilustração de configuração de sensor de nível em mínimo e máximo**



Fonte: Autoria própria.

### 3.5 PARAMETRIZAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

O inversor de frequência escolhido para o projeto foi o modelo CFW10 da fabricante WEG. Este dispositivo possui cartão eletrônico de controle com 4 entradas digitais e 1 entrada analógica. Estas entradas são utilizadas para o acionamento e controle do equipamento. Os parâmetros de programação do inversor são apresentados nas linhas da Tabela 3.

**Tabela 3 - Configuração de parâmetros no inversor de frequência**

Parâmetro	Função	Valor	Descrição do Valor
P100	Tempo de Aceleração	5.0	5 segundos
P101	Tempo de Desaceleração	10.0	10 segundos
P133	Frequência Mínima	4.0	4 Hz
P134	Frequência Máxima	30.0	30 Hz
P202	Tipo de Controle	0	V/F (Volts/Frequência) Linear
P221	Seleção de Referência Local	0	Teclas da IHM
P222	Seleção de Referência Remota	1	Ent. Analógica AI1
P229	Seleção Comando Local	1	Bornes (XC1)
P230	Seleção Comando Remoto	1	Bornes (XC1)
P231	Sentido Giro	0	Horário
P235	Sinal Entrada Analógica	0	0 a 10 V
P263	Função Entrada DI1	2	Habilita Geral
P264	Função Entrada DI2	6	Local/ Remoto
P265	Função Entrada DI3	13	Liga
P266	Função Entrada DI4	14	Desliga

Fonte: Autoria própria.

### 3.6 DISPOSITIVOS AUXILIARES

Para o efetivo funcionamento dos equipamentos ora citados, faz-se necessário o emprego de dispositivos auxiliares que realizam a conversão dos sinais elétricos analógicos.

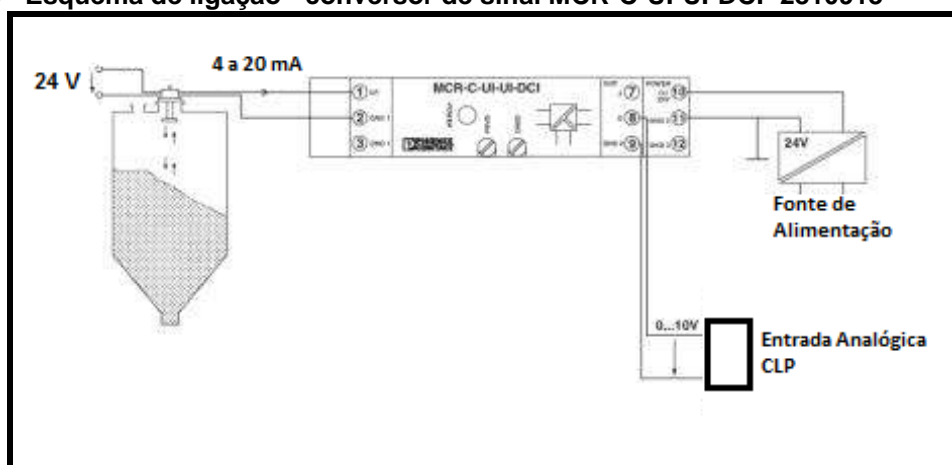
Para a conversão do sinal analógico 4 a 20 mA, utiliza-se o amplificador condicionador de sinal da Phoenix Contact modelo MCR-C-UI-UI-DCI – 2810913 (Figura 14). O mesmo realiza a conversão de sinais 4 a 20 mA, para o sinal de 0 a 10 Volts (PHOENIX-CONTACT, 2014), conforme esquema da Figura 15.

**Figura 14 - Conversor de sinal MCR-C-UI-UI-DCI- 2810913**



Fonte: Phoenix-Contact (2014).

**Figura 15 - Esquema de ligação - conversor de sinal MCR-C-UI-UI-DCI- 2810913**



Fonte: Phoenix-Contact (2014).

Outro sinal que necessita de conversão para ser lido pelo módulo controlador é o sinal de tensão de pulso oriundo do medidor de micro vazão

FTB300. Para esta tarefa é empregado o condicionador de sinal DRF-FR da Omega (Figura 16), o qual realiza a conversão de sinal de entrada de frequência em sinal de tensão de 0 a 10 Vcc.

**Figura 16 - Conversor de sinal frequência analógico DRF-FR**



Fonte: Omega (2017).

Ainda com finalidades específicas distintas, o projeto prevê o emprego de outros dispositivos, sendo eles:

- Bloqueio de fluxo: emprego de válvulas solenoides, as quais são conectadas na tubulação de sucção das bombas dosadoras e, no momento de inatividade, impedem a passagem do fluido. As válvulas selecionadas para o projeto são do tipo NF (normalmente fechada), tendo tensão de alimentação de 220 Vca (volts corrente alternada).
- Acionamento e comando elétrico: utilização de relés modulares de interface, com contatos removíveis e alimentação de tensão 24 Vcc. São responsáveis pelo acionamento das válvulas solenoides.
- Fonte de alimentação: dispositivo com tensão contínua de 24 Vcc e corrente mínima de 6 A.

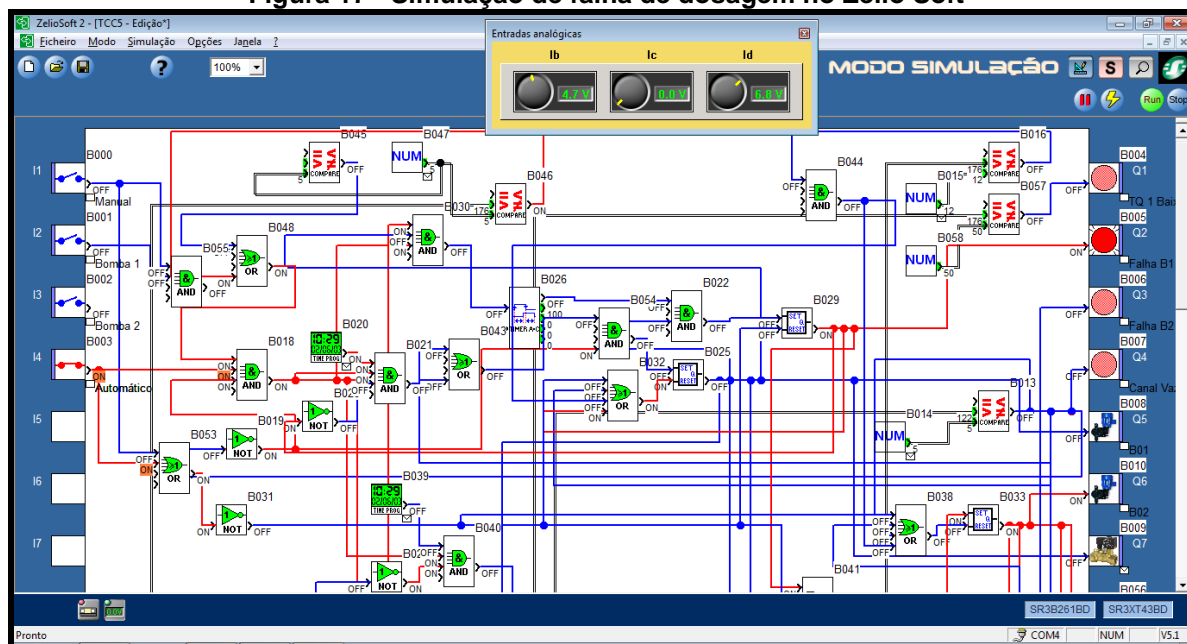
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Devido aos trâmites administrativos e burocráticos, não houve tempo hábil para adquirir alguns componentes eletrônicos necessários para realização física do projeto. Diante desta situação, foram feitas simulações no *software* Zelio Soft, o qual possibilitou verificar o comportamento do processo através da determinação ou alteração de valores nas variáveis de entrada do programa.

Na simulação em *software*, foram realizados os testes que simulam as diversas possibilidades em que o sistema pode se comportar e sofrer em períodos de tempo distintos ou simultâneos. Estes resultados e as supostas falhas são descritos abaixo.

Falha de bomba dosadora: A detecção desta falha ocorre através da ausência de vazão de dosagem no tempo superior a 2 minutos, ocasionada por pane da bomba dosadora ou elétrica do inversor de frequência. Em ambas as situações o equipamento é desligado, havendo indicação de alarme de falha, sendo em seguida acionado o equipamento reserva, o qual tem a mesma configuração no caso de falha. Na Figura 17 é apresentado o resultado da simulação onde esta condição de falha acontece. Verifica-se na aba da lateral direita que a saída Q2 fica ativa (*on*) e que a Q5 é desligada (*off*).

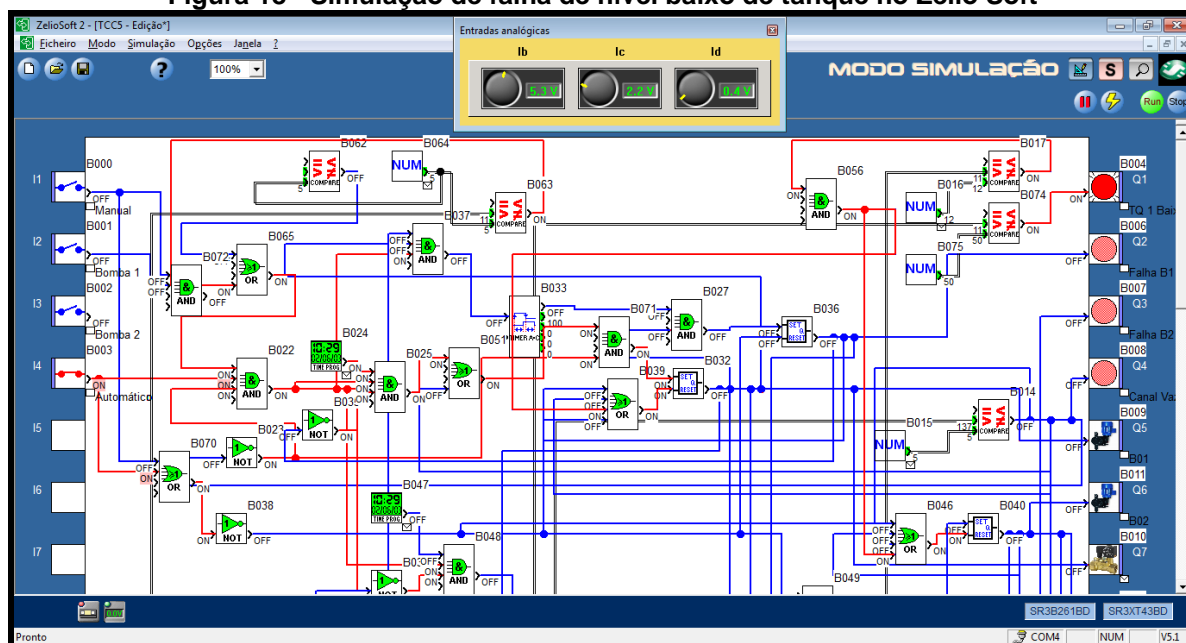
Figura 17 - Simulação de falha de dosagem no Zelio Soft



Fonte: Autoria própria.

Nível de tanque baixo: O nível do tanque de flúor está configurado para fornecer um sinal elétrico de 0 a 10 Volts na entrada do controlador. Quando o sinal estiver abaixo de 2 V é acionado o alarme de nível baixo. Na ocasião da tensão ficar abaixo de 0,5 V, a bomba dosadora é desligada e o sistema fica impedido de ligar ou é desligado. Na Figura 18, a saída Q1 está ativada (*on*) com tensão de 0,4 V e a saída Q5 é desabilitada (*off*) nesta tensão.

Figura 18 - Simulação de falha de nível baixo de tanque no Zelio Soft

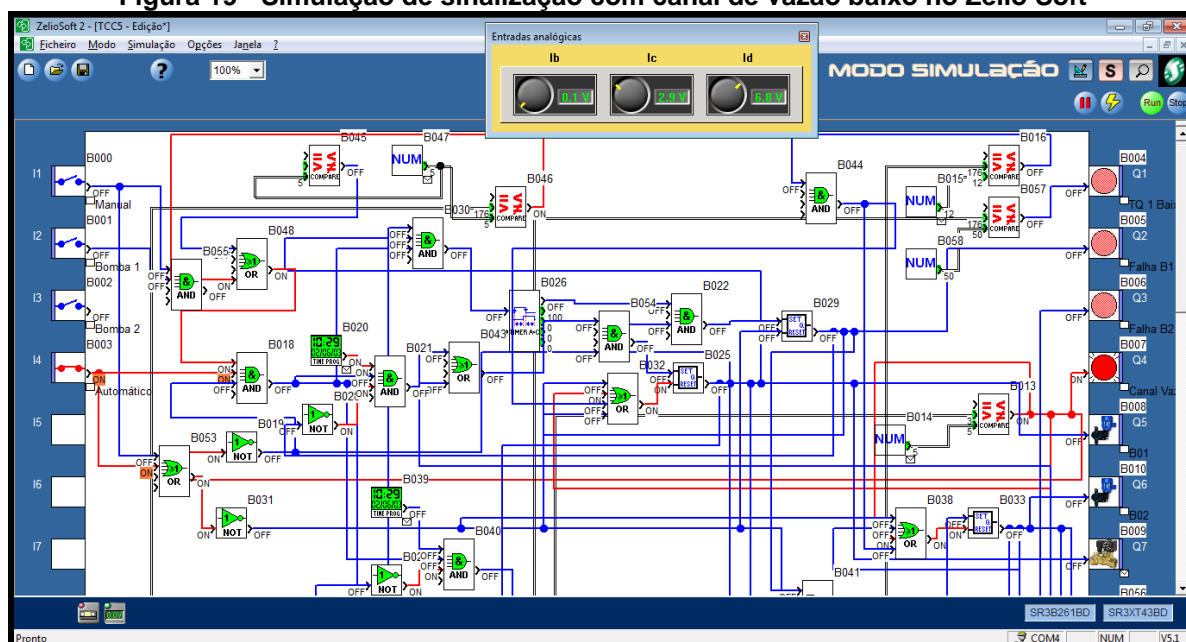


Fonte: Autoria própria.

Canal de água para dosagem: A vazão do canal de dosagem é indicada por sinal elétrico de 0 a 10 Volts. Quando a vazão estiver com sinal abaixo de 0,5 Volt, o sistema de dosagem é desligado ou impedido de ligar. A Figura 19 apresenta esta condição de sinalização, onde a entrada IB está em 0,1 V, a saída Q4 está ativada (*on*), sinalizando canal vazio.



Figura 19 - Simulação de sinalização com canal de vazão baixo no Zelio Soft



Fonte: Autoria própria.

Sistema de revezamento de bombas: Este parâmetro permite que a dosadora reserva seja acionada em 2 dias da semana, resultando na utilização do equipamento em tempo pré-determinado e mantendo a confiabilidade no processo em caso de falha da bomba principal.

Controle de dosagem por PID: No modo automático o controle é realizado pelo bloco de função PID, o qual recebe o valor da vazão do canal de água, (ajustado como *set point*) e o valor da vazão de dosagem de flúor (definida como *feedback*), realizando o ajuste compensador para determinar a saída.

Modo manual: Neste modo de operação a dosadora é selecionada manualmente pelo operador do sistema. A frequência de dosagem, a qual define a quantidade (vazão) de produto a ser aplicado, é alterada manualmente através da IHM (interface homem máquina) do inversor de frequência. Na ausência de vazão de dosagem, é acionado o alarme de falha e a dosadora é desligada.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O desenvolvimento do projeto proporcionou o aprofundamento em teorias e métodos operacionais do processo de dosagem de flúor. Ainda neste contexto, foram estudados equipamentos e dispositivos que poderiam ser empregados para o trabalho de automatização do processo de dosagem.

A partir das necessidades essenciais foi possível verificar parâmetros e funções que atenderiam a demanda técnica e a obtenção de resultados confiáveis, facilitando a implementação futura.

## REFERÊNCIAS

ALLEN-BRADLEY. **Controlador lógico programável**. Copyright© 2011 Rockwell Automation, Inc., publicado em: abr. Disponível em: <[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/2080-pp001\\_pt-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/2080-pp001_pt-p.pdf)>. Acesso em: 07 ago. 2018.

ATOS. **Curso avançado de controladores programáveis**. Atos Automação Industrial LTDA, manual rev. 1.20. São Paulo, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 635/bsb, normas e padrões sobre a fluoretação da água**. Decreto n.º 76.872, 1975. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/349893/>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção a Saúde. **Guia de recomendações para o uso de fluoretos no Brasil**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <[http://189.28.128.100/dab/docs/portaldab/publicacoes/guia\\_fluoretos.pdf](http://189.28.128.100/dab/docs/portaldab/publicacoes/guia_fluoretos.pdf)>. Acesso em: 20 mai. 2018.

CASSIOLATO, César; ALVES, Evaristo O. **Medição de vazão**. Associação Profibus Brasil, 2010. Disponível em: <<http://www.profibus.org.br/images/arquivo/pdf-2-543ec3eeb4df5.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

CONAUT. **Medidor de nível ultrassônico para líquido Echotrek**. Copyright© Conaut, 2018. Disponível em: <<https://www.conaut.com.br/produtos/item/medidor-de-nivel-ultrassonico-para-liquido-echotrek-nivelco>>. Acesso em: 06 set. 2018.

EATON. **A inteligente família Easy**. Copyright© 2012 Orkan Informática Industrial V. 01 Brasil, 2012. Disponível em: <[http://www.orkan.com.br/arquivos\\_pdf/linha\\_eaton/easy\\_mfd/Orkan\\_Eaton\\_Easy.pdf](http://www.orkan.com.br/arquivos_pdf/linha_eaton/easy_mfd/Orkan_Eaton_Easy.pdf)>. Acesso em: 08 ago. 2018.

FOX, Robert W.; MCDONALD, Alan T. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 5. ed. LTC, 1998.

HELM, Wolfgang. **Technology guide ultrasonics**. Copyright© Pepperl+Fuchs, Alemanha, publicado em: dez. 2017. Disponível em: <[https://files.pepperl-fuchs.com/webcat/navi/productInfo/doct/tdoct3631a\\_eng.pdf?v=20180108165424](https://files.pepperl-fuchs.com/webcat/navi/productInfo/doct/tdoct3631a_eng.pdf?v=20180108165424)>. Acesso em: 04 set. 2018.

LEGNER, Carla. **Bombas dosadoras**. Revista TAE, publicado em: 06 fev. 2013. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/5470-noticias>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

NARVAI, P. C.; BIGHETTI, T. I. **Fluorose dentária: aspectos epidemiológicos de vigilância à saúde**. In: PINTO, V. G (Org.). Saúde Bucal Coletiva. 5. ed. São Paulo: Santos, 2008. p. 228-243.

OMEGA. **FTB300 series flow verification sensor**. Copyright© 2003-2015 OMEGA Engineering Inc., 2017. Disponível em: <[https://br.omega.com/pptst/FTB300\\_SERIES.html](https://br.omega.com/pptst/FTB300_SERIES.html)>. Acesso em: 03 ago. 2018.

PHOENIX-CONTACT. **Amplificador isolador - MCR-C-UI-UI-DCI - 2810913**. Copyright© 2018 PHOENIX CONTACT, Alemanha, 2014. Disponível em: <<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/br?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2810913&library=brpt&tab=1#Dadosdeentrada>>. Acesso em: 03 out. 2018.

REEVES, Thomaz G. **Water fluoridation, a manual for engineers and technicians**. Atlanta, USA, 1986. Disponível em: <<https://catalog.hathitrust.org/Record/002167552>>. Acesso em: 18 mai. 2018.

RILEY, Jane C.; LENNON, Michael A.; ELLWOOD, Roger P. **The effect of water fluoridation and social inequalities on dental caries in 5-year-old children**. International Journal of Epidemiology, v. 28, n. 2, abr. 1999. p. 300-305. Disponível em: <<https://academic.oup.com/ije/article/28/2/300/655242>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

RUBIN, Cristiane. **Para acelerar o processo de automação de Etas e Etes, smartphones, tablets e outros dispositivos entram em cena**. Revista e Portal Meio Filtrante, publicado em: 02 out. 2014. Disponível em: <<http://www.meiofiltrante.com.br/internas.asp?id=17393&link=noticias>>. Acesso em: 22 mai. 2018.

SCHNEIDER. **Smarts relays Zelio logic**. Catálogo Técnico v. 3.1. França, 2018. Disponível em: <[http://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=Catalog&p\\_File\\_Name=DIA3ED2111202EN.pdf&p\\_Doc\\_Ref=DIA3ED2111202EN](http://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=DIA3ED2111202EN.pdf&p_Doc_Ref=DIA3ED2111202EN)>. Acesso em: 08 ago. 2018.

SOUZA, Marcelo de. **Proposta de um sistema de gestão empregando instrumentação inteligente e redes de campo na automação do processo de tratamento de água**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo, 2006.

SUDERHSA. **Relatório de diagnóstico: Plano da bacia do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira**. Governo do Estado do Paraná, Instituto das Águas do Paraná, Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA), 2007. Disponível em: <[http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/COALIAR/Publicacoes/plano\\_de\\_bacias/cap07\\_demandas.pdf](http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/COALIAR/Publicacoes/plano_de_bacias/cap07_demandas.pdf)>. Acesso em: 23 mai. 2018.

WEG. **Inversor de Frequência CFW08**. Copyright© WEG, 2018. Publicado em: 2014. Disponível em: <[https://www.weg.net/catalog/weg/US/pt/Drives/Inversores-de-Frequ%C3%Aancia/Micro-e-Mini-Drives/Inversor-de-Frequ%C3%Aancia-CFW08/Inversor-de-Frequ%C3%Aancia-CFW08/p/MKT\\_WDC\\_GLOBAL\\_VARIABLE\\_SPEED\\_DRIVE\\_CFW08](https://www.weg.net/catalog/weg/US/pt/Drives/Inversores-de-Frequ%C3%Aancia/Micro-e-Mini-Drives/Inversor-de-Frequ%C3%Aancia-CFW08/Inversor-de-Frequ%C3%Aancia-CFW08/p/MKT_WDC_GLOBAL_VARIABLE_SPEED_DRIVE_CFW08)>. Acesso em: 07 ago. 2018.