

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**



## **Sistema Didático de Processos Contínuos**

João Duarte Salgueiro Domingues Silva

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do  
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Major Automação

Orientador: Paulo José Lopes Machado Portugal

26 de Junho de 2016



# Resumo

Nas unidades curriculares lecionadas no ramo de automação do MIEEC da FEUP são ensinados e postos em prática, tanto conceitos básicos como sistemas de controlo. Na aplicação deste último constata-se que é necessário utilizar equipamentos mais dispendiosos, de maior complexidade e que permitam o desenvolvimento de sistemas de controlo dinâmico.

É com o propósito de desenvolver um conjunto de equipamento que permita implementar, testar e validar sistemas de processos contínuos que esta dissertação foi desenvolvida, permitindo aos estudantes do ramo de automação o contacto com um sistema didático complexo.

Foram desenvolvidas três estações que constituem o sistema didático em causa: uma estação de controlo de nível, uma de controlo de temperatura, e uma de controlo de fluxo. Cada uma destas tem um processo contínuo associado, muito utilizado nos setores industriais atualmente.

Foram desenvolvidas quatro aplicações que permitem diferentes modos de controlo do sistema:

- Um modo de demonstração do funcionamento de cada uma das estações;
- Um modo de controlo manual, para analisar o comportamento do sistema;
- Um modo de controlo por sinais digitais e analógicos, para controlar o sistema remotamente através de ligações com uma plataforma externa;
- Um modo de comunicação rede, que permite o controlo remoto do sistema com uma plataforma externa, recorrendo a comunicações de rede.

Para realizar a interação com o sistema foi integrada uma consola tátil.

Foram ainda desenvolvidos dois sistemas de proteção:

- Interlock que protege o sistema e o operador, de comandos que possam ser prejudiciais para o normal funcionamento do equipamento ou pôr pessoas em situação de risco;
- Circuito de isolamento de sinal para as ligações físicas entre o sistema didático e a plataforma externa.

O sistema didático de processos contínuos permite o contacto com equipamentos utilizados atualmente na automação industrial, o desenvolvimento de sistemas de controlo para o mesmo, a análise do impacto que diferentes controladores podem ter no sistema a controlar e uma melhor perceção do controlo de um sistema.

*Página em branco*

# Abstract

The courses taught in the automation branch of MIEEC from FEUP are taught and put into practice basic concepts such as control systems. In application of control systems it appears that it is necessary to use more expensive equipment, more complex and allow the development of dynamic control systems.

It is with the purpose to develop a set of equipment which implement, test and validate continuous process systems this thesis was developed, allowing students from the automation branch to have contact with a complex educational system.

Three stations have been developed which constitute the didactic system in question: a level control station, a temperature control station and a flow control station. Each of these stations has associated a continuous process widely used in industries related to continuous production today.

Four applications have been developed that allow different modes to control the system:

- A demonstration mode of operation of each station;
- A manual control mode, to analyze system behavior;
- A control method by digital and analog signals to control the system remotely with an external computer system;
- A network communication mode, which allows remote control of the system with an external computer system, using network communications.

To interact with the system a tactile console has been integrated.

They were also developed two protection systems:

- Interlock that protects the system and the operator of commands that can be harmful to the normal operation or put people at risk;
- Signal isolation circuit for the physical links between the educational system and the external computer system.

The educational system of continuous processes allows contact with equipment currently used in the industrial automation, the development of control systems for the same, analysis of the impact that different controllers may have on the system to control and better perception of controlling a system.

*Página em branco*

# Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, por toda a dedicação e empenho na minha formação pessoal e académica e pela compreensão demonstrada ao longo deste meu percurso. Sem o seu apoio seria mais difícil atingir esta jornada da minha vida.

Quero também agradecer aos meus amigos, com especial menção ao Flávio Amorim, que para além de um grande amigo de longa data, acompanhou de muito perto toda esta etapa da dissertação, com todos os altos e baixos que marcaram este percurso. É digno de referência a parceria e companheirismo entre os dois no laboratório onde trabalhamos, cada um na sua dissertação durante estes últimos cinco meses.

Quero agradecer também à minha namorada, Teresa Sousa. Por tudo o que fez, pelo acompanhamento ao longo da dissertação, pelos momentos menos felizes e mais difíceis de ultrapassar e pelos momentos que me divertiu e motivou.

Por último, quero agradecer reconhecidamente ao meu orientador, Professor Paulo Portugal, pela sua disponibilidade, apoio prestado na preparação e desenvolvimento da minha dissertação, à qual dedicou toda a atenção, mesmo com os condicionalismos inerentes à atividade profissional e desempenho das suas funções.

*Página em branco*

# Índice

Introdução.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Motivação .....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.4 Organização do documento .....	2
Sistemas didáticos comerciais .....	3
2.1 IPA 3 .....	4
2.2 CPIC .....	5
2.3 MPS-PA.....	6
2.3.1 Estação de Filtragem .....	6
2.3.2 Estação de Mistura.....	6
2.3.3 Estação de Aquecimento .....	6
2.3.4 Estação de Engarrafamento.....	6
2.4 Conclusões dos sistemas analisados .....	7
Arquitetura do Sistema .....	8
3.1 Requisitos do sistema .....	8
3.2 Arquitetura proposta .....	9
3.3 Estações .....	11
3.3.1 Estação de Nível .....	11
3.3.2 Estação de temperatura .....	12
3.3.3 Estação de fluxo .....	14
3.4 Modos de Funcionamento.....	15
3.4.1 Modo Demonstração .....	15
3.4.2 Modo Manual .....	15
3.4.3 Modo Comunicação Rede .....	15
3.4.4 Modo controlo por sinais digitais e analógicos.....	16
3.5 Interlock.....	16
Hardware desenvolvido .....	17
4.1 Sistema computacional .....	17
4.2 Componentes do sistema .....	19
4.2.1 Componentes comuns .....	19
4.2.1.1 Reservatório .....	19
4.2.1.2 Bomba de enchimento.....	20
4.2.1.3 Electroválvulas .....	20
4.2.1.4 Sensor capacitivo .....	21
4.2.1.5 Sensor de Boia .....	22
4.2.1.6 Canalizações.....	22
4.2.1.7 Tanques .....	22
4.2.2 Estação de nível.....	23
4.2.2.1 Bomba regulável .....	24
4.2.2.2 Ultrassons.....	26
4.2.2.3 Componentes utilizados na estação de nível .....	26

4.2.3 Estação de temperatura .....	27
4.2.3.1 Unidade de aquecimento .....	28
4.2.3.2 Sensor de temperatura .....	28
4.2.3.3 Unidade de arrefecimento.....	29
4.2.3.4 Bomba de água .....	30
4.2.3.5 Misturador .....	30
4.2.3.6 Componentes utilizados na estação de temperatura .....	30
4.2.4 Estação de fluxo .....	31
4.2.4.1 Caudalímetro.....	32
4.2.4.2 Válvula proporcional.....	32
4.2.4.3 Componentes utilizados na estação de fluxo.....	33
4.3 Sistema de proteção elétrico .....	34
4.3.1 Interface com sinais digitais .....	34
4.3.2 Interface com sinais analógicos .....	34
4.3.3 Resultados obtidos.....	36
Arquitetura de Software.....	37
5.1 Arquitetura proposta .....	37
5.2 Modos de funcionamento .....	40
5.2.1 Modo demonstração .....	40
5.2.1.1 Estação de nível .....	40
5.2.1.2 Estação de temperatura .....	41
5.2.1.3 Estação de fluxo .....	41
5.2.2 Modo manual .....	42
5.2.3 Modo controlo por sinais digitais e analógicos.....	43
5.2.4 Modo comunicação rede.....	43
5.3 Interlock.....	44
Interface com o utilizador .....	46
6.1 Interface gráfica .....	46
6.2 Sinóticos.....	48
6.2.1 Demonstração .....	49
6.2.1.1 Estação de nível, temperatura e fluxo .....	50
6.2.2 Manual .....	52
6.2.2.1 Estação de nível, temperatura e fluxo .....	53
6.2.3 Comunicação rede e Sinais D/A .....	55
Conclusão .....	56
Referências bibliográficas.....	58
Anexos .....	59

## Lista de figuras

Figura 2.1 - Sistema didático IPA (adaptado de [1]).....	3
Figura 2.2 - Sistema didático CPIC (adaptado de [2]).....	4
Figura 2.3 - Sistema didático MPS-PA (adaptado de [3]).....	5
Figura 3.1 - Conceito da arquitetura do sistema.....	10
Figura 3.2 - Esquema da estação de nível.....	11
Figura 3.3 - Esquema da estação de temperatura.....	13
Figura 3.4 - Esquema da estação de fluxo.....	14
Figura 4.1 - Autômato.....	19
Figura 4.2 - Reservatório.....	19
Figura 4.3 - Bomba de enchimento.....	20
Figura 4.4 - Electroválvula.....	20
Figura 4.5 - Sensor capacitivo.....	21
Figura 4.6 - Sensor de boia.....	22
Figura 4.7 - Esquema da estação de nível.....	23
Figura 4.8 - Bomba Regulável.....	24
Figura 4.9 - Esquema do circuito elétrico de PWM.....	25
Figura 4.10 - Sensor Ultrassons.....	26
Figura 4.11 - Esquema da estação de temperatura.....	27
Figura 4.12 - Resistência de aquecimento.....	28
Figura 4.13 - Sensor de temperatura PT100.....	29
Figura 4.14 - Esquema da estação de fluxo.....	31
Figura 4.15 - Conversor de frequência para analógico.....	32
Figura 4.16 - Válvula proporcional.....	32
Figura 4.17 - Esquema do circuito de isolamento digital.....	34
Figura 4.18 - Esquema do circuito de isolamento analógico.....	35
Figura 4.19 - Teste circuito de isolamento digital.....	36
Figura 4.20 - Teste circuito de isolamento analógico.....	36
Figura 5.1 - Arquitetura do Software desenvolvido.....	38
Figura 5.2 - Relação entre variáveis do sistema.....	39
Figura 5.3 - Fluxograma funcional do modo de demonstração da estação de nível.....	40
Figura 5.4 - Fluxograma funcional do modo de demonstração da estação de temperatura....	41
Figura 5.5 - Fluxograma funcional do modo de demonstração da estação de fluxo.....	42
Figura 5.6 - Diagrama de associações entre variáveis no modo manual.....	42

Figura 5.7 - Diagrama de associações entre variáveis no modo de controlo por sinais digitais e analógicos .....	43
Figura 5.8 - Diagrama de associações entre variáveis no modo comunicação rede.....	44
Figura 6.1 - Consola Schneider utilizada para interface .....	47
Figura 6.2 - Sinótico inicial .....	48
Figura 6.3 - Sinótico do modo de demonstração .....	49
Figura 6.4 - Sinótico de demonstração da estação de nível.....	50
Figura 6.5 - Sinótico de demonstração da estação de fluxo .....	51
Figura 6.6 - Sinótico de demonstração da estação de temperatura .....	51
Figura 6.7 - Sinótico modo manual .....	52
Figura 6.8 - Sinótico de controlo manual da estação de nível .....	53
Figura 6.9 - Sinótico de controlo manual da estação de nível.....	54
Figura 6.10 - Sinótico de controlo manual da estação de temperatura.....	54
Figura 6.11 - Sinótico do modo de comunicações Rede.....	55

## Lista de tabelas

Tabela 4-1 - Contabilização de sensores e atuadores do sistema .....	18
Tabela 4-2 - Resumo dos componentes da estação de nível .....	26
Tabela 4-3 - Resumo dos componentes da estação de temperatura.....	30
Tabela 4-4 - Resumo dos componentes da estação de fluxo .....	33
Tabela 5-1 - Regras do Interlock .....	44

# Abreviaturas e Símbolos

## Lista de abreviaturas

CPIC	<i>Computerized Process Industrial Control</i>
DEEC	Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPA	<i>Industrial Process Automation</i>
MIEEC	Mestrado Integrado de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
MPS-PA	<i>Modular Production Systems - Process Automation</i>
P	Proporcional
PI	Proporcional Integrador
PID	Proporcional Integrador Derivador
PVC	<i>Polyvinyl chloride</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
RTD	<i>Resistance Temperature Detector</i>
SFC	<i>Sequential Function Chart</i>

## Lista de símbolos

$\Omega$	Ohm
----------	-----

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contexto

No ramo de automação do Mestrado Integrado de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MIEEC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) são lecionadas várias unidades curriculares no âmbito da automação industrial.

Nestas unidades curriculares os alunos aprendem, desde conceitos básicos de automação, como controlar sistemas através de modelos baseados em máquinas de estados e implementá-las em autómatos programáveis até desenvolver sistemas de controlo e monitorização industriais.

Os sistemas didáticos que se encontram disponíveis no laboratório de automação são autómatos programáveis, sistemas de automação básicos, para controlo de entradas e saídas lógicas, e um sistema didático que representa uma linha de montagem, com sensores e atuadores apenas digitais.

Para uma formação mais completa no ramo de automação era importante inserir um sistema didático mais complexo.

### 1.2 Motivação

A dissertação realizada motivadora uma vez que o sistema didático desenvolvido irá contribuir para a formação de estudantes de engenharia eletrotécnica do ramo de automação.

O sistema desenvolvido dará aos estudantes a oportunidade de realizar experiências mais complexas e desafiantes na sua formação na área de processos contínuos industriais e no controlo dos mesmos.

Outros fatores de interesse para o desenvolvimento deste sistema didático são a interação com equipamentos e programas relacionados com automação, que permitem adquirir ainda mais conhecimento nesta área.

### 1.3 Objetivos

Através do sistema didático desenvolvido pretende-se melhorar a formação dos estudantes na área de automação, ao integrar experiências como:

- Compreender, analisar e controlar sistemas de processos contínuos;
- Desenvolver controladores como P, PI e PID para controlar processos contínuos;
- Analisar a resposta de um sistema de processos contínuos controlado por diferentes tipos de controladores;
- Analisar as respostas para controladores com diferentes parâmetros;
- Perceber o princípio de funcionamento e áreas de aplicação dos sensores e atuadores, digitais e analógicos.

### 1.4 Organização do documento

Para além deste capítulo de introdução, este documento é composto por mais seis capítulos.

No capítulo 2 são apresentados alguns sistemas didáticos de processos contínuos disponíveis comercialmente, com objetivos e funcionalidades semelhantes ao desenvolvido nesta dissertação.

No capítulo 3 é apresentada a arquitetura do sistema didático desenvolvido, onde são expostos os requisitos e objetivos do sistema, a proposta de implementação e as características do mesmo.

No capítulo 4 é apresentada a componente de hardware do sistema desenvolvido.

No capítulo 5 é apresentada a componente de software do sistema desenvolvido.

No capítulo 6 é apresentada a interface desenvolvida para controlar e monitorizar o sistema.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e enumeradas possibilidades de novos desenvolvimentos que poderão ocorrer, futuramente, através de novos projetos.

## Capítulo 2

### Sistemas didáticos comerciais

Neste capítulo são apresentados sistemas didáticos com um objetivo semelhante ao sistema desenvolvido. São analisados sistemas de fabricantes, características e áreas de atuação diferentes. Em particular é analisado o sistema didático da FESTO, mais relevante para esta dissertação, uma vez que o conceito de funcionamento é semelhante ao desenvolvido nesta dissertação.

#### 2.1 IPA

A Lucas-Nülle é uma empresa alemã que desenvolve sistemas didáticos e de treino para as mais diversas áreas de engenharia. Entre outros sistemas didáticos esta empresa disponibiliza um sistema didático de processos industriais.

Este sistema didático é o “Industrial Process Automation”[1], IPA, que tem como objetivo formar e dar uma experiência prática nas áreas de automação, mecatrónica e autómatos.

Com o sistema IPA é possível realizar testes a equipamentos individuais ou realizar o controlo de processos de automação, com recurso a alguns equipamentos utilizados na área de automação industrial.



Figura 2.1 - Sistema didático IPA (adaptado de [1])

O sistema IPA disponibiliza cinco módulos de controlo de processos:

- Módulo compacto, para realizar o controlo de pressão, temperatura, volume e fluxo;
- Módulo de mistura de líquidos, para realizar o controlo de mistura precisa de líquidos;
- Módulo de enchimento de garrafas, para realizar o controlo do enchimento de garrafas com doses definidas;
- Módulo de fecho de garrafas, para realizar o controlo do processo de fecho de garrafas;
- Módulo de abertura de garrafas, para realizar o controlo de uma linha de abertura de garrafas e separação por tampas e garrafas.

Em todos estes módulos do sistema IPA, é necessário projetar as ligações a fazer para realizar o controlo dos processos e seleccionar e ligar os diferentes sensores envolvidos.

Depois de realizada a montagem do processo é necessário desenvolver o sistema de controlo, através de controladores dinâmicos e definir os parâmetros dos controladores. É possível controlar e monitorizar os processos.

## 2.2 CPIC

Outra empresa que tem um sistema didático para o controlo de processos contínuos é a Edibon, com sede em Espanha, focada no desenvolvimento e pesquisa de material para ensino técnico.

Um dos equipamentos desenvolvidos por esta empresa é o CPIC, “Computerized Process Industrial Control”[2], um sistema didático que apresenta vários processos contínuos integrados em alguns tipos de industria.

Este sistema é constituído por uma unidade principal onde estão montados os equipamentos diretamente associados ao processo, uma unidade de serviço, uma interface de controlo, uma placa de aquisição e o software para controlar e monitorizar o sistema. Todos estes elementos têm de ser adquiridos em conjunto para ser possível trabalhar com o sistema didático.



Figura 2.2 - Sistema didático CPIC  
(adaptado de [2])

A unidade principal contém sensores de nível, de pressão e de temperatura, electroválvulas, válvulas pneumáticas e uma bomba de água dispostos de forma a ser possível recriar alguns processos contínuos para que seja feito o seu controlo.

A unidade de serviço tem um reservatório de água, um equipamento responsável por aquecer a água e um compressor de ar. Estes equipamentos servem para alimentar os elementos da unidade principal tornando possível funcionar com a mesma.

A interface de controlo é responsável pela comunicação entre o sistema e o computador. Apresenta um esquema do sistema e conectores para ligar os cabos provenientes dos sensores e atuadores do sistema e contém toda a eletrónica necessária para fazer o tratamento dos sinais para serem lidos no computador. A placa de aquisição permite a leitura da informação enviada pela interface de controlo no computador, com recurso ao software fornecido com o sistema.

Este sistema permite realizar experiências para pesquisa, simulações industriais e cursos de treino para controlo de processos contínuos. Este sistema permite desenvolver o controlo de fluxo, temperatura, nível e pressão. É possível controlar o sistema em tempo real ou através de controladores PID.

## 2.3 MPS-PA

A FESTO é uma empresa muito conhecida na área de engenharia e automação, que tem uma divisão exclusivamente dedicada ao ensino nestas áreas, a Festo Didatic.

A Festo Didatic disponibiliza vários equipamentos e soluções didáticas para áreas de robótica, automação de processos, indústrias mineiras e tratamento de águas e prestam formação relativamente às mesmas.

A referência para esta dissertação incide na área de automação de processos. A Festo Didatic disponibiliza o “Modular Production Systems - Process Automation[3]”, MPS-PA, que inclui quatro estações de processos contínuos diferentes, utilizados em vários sectores industriais, para aprendizagem e experimentação de controlo destes processos.

As quatro estações constituintes do MPS-PA são:

- Estação de Filtragem;
- Estação de Mistura;
- Estação de Aquecimento;
- Estação de Engarrafamento.

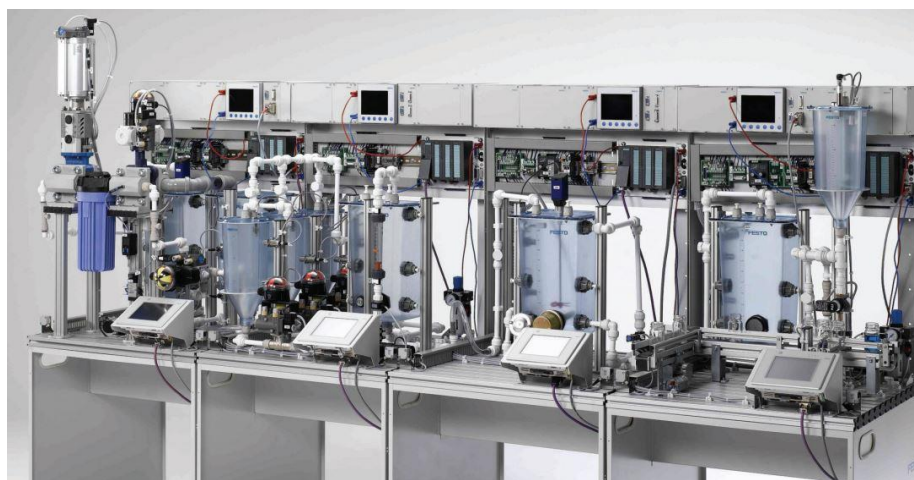


Figura 2.3 - Sistema didático MPS-PA (adaptado de [3])

Em todas estas estações existem sensores de nível para dar informação sobre o nível de líquido nos tanques das estações e que permitem realizar experiências de controlo digital mais básicas do que o controlo de um processo.

### 2.3.1 Estação de Filtragem

A estação de filtragem tem como objetivo a filtragem de líquidos. O líquido a filtrar está num tanque e é enviado para o segundo tanque, por recurso a uma bomba de água, atravessando um filtro. Este filtro é soprado por ar a pressão controlada, para limpar o filtro de depósitos contidos no líquido.

### 2.3.2 Estação de Mistura

A estação de mistura realiza a mistura de três líquidos. Esta é constituída por três tanques pequenos, que contêm os líquidos a misturar, e um tanque maior, onde é realizada a mistura dos líquidos.

O controlo do processo de mistura é feito através da relação de fluxo de líquido enviado de cada um dos três tanques iniciais para o tanque de mistura. A leitura do caudal é realizada por recurso a um sensor de fluxo em que o seu sinal é convertido num sinal analógico de 0 a 10 Volt, para ser adquirido pelo sistema computacional da estação.

Para regulação do fluxo são utilizadas bombas com controlo analógico, que pode ser um controlo lógico ou um controlador dinâmico.

### 2.3.3 Estação de Aquecimento

A estação de aquecimento realiza o aquecimento de um líquido até uma determinada temperatura. Nesta estação existe um tanque onde é realizado todo o processo de controlo associado à mesma. A temperatura do líquido da estação é lida por recurso a um sensor de temperatura PT100.

O controlo do processo nesta estação pode ser feito por recurso a controlo lógico ou a controladores dinâmicos como P, PI ou PID.

### 2.3.4 Estação de Engarrafamento

A estação de engarrafamento consiste no enchimento de garrafas com líquido. Esta estação é composta por tapetes que levam as garrafas vazias até à zona de enchimento, onde são cheias e é feito o controlo da quantidade de líquido introduzido nas garrafas.

A quantidade de líquido inserido nas garrafas é verificada através de um sensor analógico e é utilizada uma bomba de água para enviar o respetivo líquido para o interior das garrafas.

O controlo nesta estação também pode ser através de um controlador lógico ou através de controladores dinâmicos.

## 2.4 Conclusões dos sistemas analisados

Existem dois problemas mais evidentes associados aos sistemas didáticos analisados, tanto no sistema da FESTO como nos comercializados por outras empresas.

O primeiro dos inconvenientes destes sistemas está relacionado com o elevado preço, tipicamente muitos milhares de euros, sendo muito difícil ou mesmo impossível, para uma instituição de ensino, adquirir os mesmos.

Outro problema detetado nestes sistemas é o facto de os mesmos serem produzidos de forma a obter um produto final selado. Isto não permite flexibilidade para alterações aos componentes ou sistema de controlo, limitando assim as experiências a realizar com os mesmos e não permitindo possíveis melhorias futuras.

Identificados estes dois problemas nos sistemas didáticos de processos contínuos existentes, um dos objetivos no desenvolvimento deste sistema será a possibilidade de obter um sistema mais flexível e com um custo significativamente mais reduzido.

## Capítulo 3

# Arquitetura do Sistema

Neste capítulo é apresentada a arquitetura do sistema didático, são identificados os requisitos definidos, qual a abordagem utilizada para a construção e desenvolvimento do sistema didático e ainda os modos de funcionamento desenvolvidos.

### 3.1 Requisitos do sistema

Na fase inicial do desenvolvimento do sistema foram definidos, em conjunto com o orientador da dissertação, os requisitos que o mesmo tem de cumprir:

- Ser um sistema didático que permita controlar processos contínuos;
- Serem desenvolvidas três estações de processos contínuos distintos;
- O sistema didático irá ser controlado por uma plataforma externa (ex. PC, autómato, Microcontrolador), desenvolvida pelos estudantes;
  - Ser possível controlar as estações em modos de funcionamento diferentes, através de tipos de comunicação diferentes;
  - Ser possível controlar remotamente a estação através de comunicação de rede, usando um protocolo aberto;
  - Ser possível controlar remotamente a estação através de sinais digitais e analógicos;
  - Existir a opção de controlar manualmente cada um dos atuadores das estações;
  - Ter a possibilidade de demonstrar o processo contínuo associado a cada estação;
  - Incluir uma aplicação de segurança, para verificar se os comandos enviados para as estações danificam o sistema;
  - Existir um sistema de isolamento de sinais para o controlo remoto através de sinais digitais e analógicos;

## 3.2 Arquitetura proposta

Tendo em conta os requisitos e objetivos do sistema didático foram desenvolvidas três estações, apresentadas na secção 3.3, onde decorrem processos contínuos distintos:

- Estação de nível;
- Estação de temperatura;
- Estação de fluxo.

Foi necessário incluir um sistema computacional para gerir os comandos enviados para os atuadores e a leitura do estado dos sensores do sistema. A inclusão do sistema computacional deve-se ao facto de as estações desenvolvidas poderem ser controladas por vários modos de funcionamento e ainda para realizar uma verificação de comandos enviados para o sistema, através de um programa de segurança designado Interlock.

Para controlo do sistema didático os estudantes controlam uma plataforma externa, que comunica com o sistema computacional associado ao sistema didático, para enviar comandos e obter informação sobre o estado do sistema.

Os modos de funcionamento desenvolvidos permitem o controlo remoto das estações, o controlo manual dos atuadores do sistema e a execução de uma aplicação que realiza uma demonstração de cada uma das estações. O controlo remoto das estações pode ser feito com recurso a dois meios de comunicação, um modo de funcionamento desenvolvido permite o controlo remoto através de comunicação de rede e outro modo de funcionamento permite o controlo remoto através de controlo por sinais digitais e analógicos. Estes modos de funcionamento são apresentados na secção 3.4.

O Interlock é executado qualquer que seja o modo de funcionamento ativo, para que sejam sempre verificadas os comandos enviados para o sistema e não se verifique nenhuma situação que possa danificar os componentes ou colocar em risco o utilizador. O Interlock é apresentado na secção 3.5.

Para seleccionar o modo de funcionamento e para realizar o controlo manual dos atuadores do sistema no modo de controlo manual foi incluída uma interface gráfica, apresentada no capítulo 6. Esta interface comunica com o sistema computacional para apresentar informação do estado dos sensores do sistema e para enviar os comandos, inseridos na interface pelo utilizador, para controlo do sistema.

Na figura 3.1 é apresentada a arquitetura do sistema desenvolvido. É possível observar que o sistema computacional é utilizado para interagir com o sistema, ou seja, todos os comandos enviados para os atuadores das estações provêm do mesmo, e a leitura do estado dos sensores é feita pelo sistema computacional.

As ligações entre o sistema computacional e os componentes instalados nas estações são feitas entre as saídas do sistema computacional, para o envio dos comandos para os atuadores das estações, identificados por “A” na figura, e entre os sensores das estações, identificados por “S”, e as entradas do sistema computacional, para ser conhecido o estado das grandezas físicas de cada uma das estações desenvolvidas.

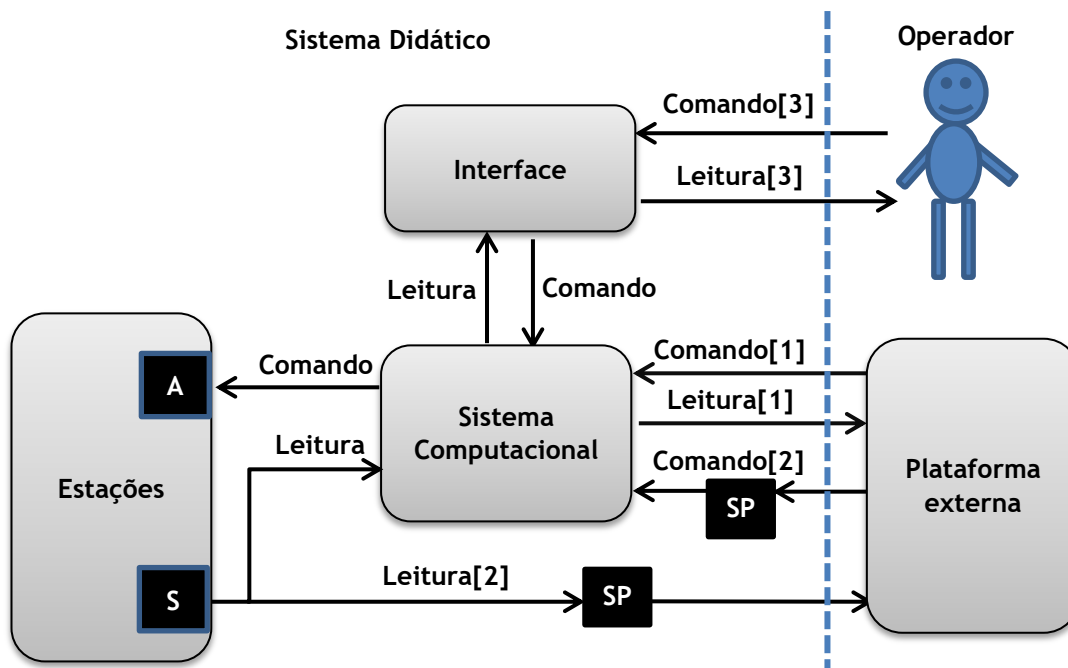


Figura 3.1 - Conceito da arquitetura do sistema

À exceção do modo de funcionamento em que o sistema demonstra os processos associados a cada estação, no qual não existe controlo do sistema por parte do operador, este controlo pode ser feito de três maneiras:

- Comunicação por rede, identificada na figura por “Comando[1]” e “Leitura[1]”. Neste modo de funcionamento, a troca de informação entre o operador e o sistema é realizada com recurso a comunicações de rede entre os dois sistemas computacionais, o do sistema desenvolvido e a plataforma externa;
- Controlo por sinais digitais e analógicos, identificado na figura 3.1 por “Comando[2]” e “Leitura[2]”. Neste modo de funcionamento, a troca de informação entre o operador e o sistema é realizada através do envio e leitura de sinais digitais e analógicos por parte do operador, com recurso a uma plataforma externa. Uma vez que esta comunicação exige uma ligação entre os dois sistemas computacionais para cada sinal, a leitura dos sensores é efetuada diretamente nos componentes, não sendo necessário recorrer ao sistema computacional do sistema. Por questões de segurança, do sistema, foi desenvolvido um sistema de proteção elétrica para as ligações realizadas nesta comunicação, identificadas por “SP” na figura 3.1, apresentado no capítulo 4.
- Controlo manual do sistema através da interface, identificado na figura por “Comando[3]” e “Leitura[3]”. Neste modo de funcionamento a interação com o utilizador é realizada através de uma interface gráfica.

### 3.3 Estações

A arquitetura das estações do sistema didático, foi desenvolvida de forma a serem cumpridos os objetivos e requisitos do sistema.

Para o desenvolvimento das três estações já existia uma bancada e quatros tanques disponíveis no laboratório de automação com o propósito de serem utilizados neste projeto.

#### 3.3.1 Estação de Nível

Esta estação foi desenvolvida com objetivo de realizar o controlo do nível de água num tanque.

Uma vez que o controlo do nível de água num tanque exige o abastecimento constante de água, e escoamento no caso de se pretender realizar um controlo dinâmico, foi necessário utilizar outro tanque para além daquele onde decorre o processo. Este tanque auxiliar permite que a estação seja abastecida de água e ao longo do processo não seja necessário novo abastecimento.

Na figura 3.2 é apresentado o esquema proposto para a estação de nível, onde é possível observar a disposição de todos os componentes instalados na estação.

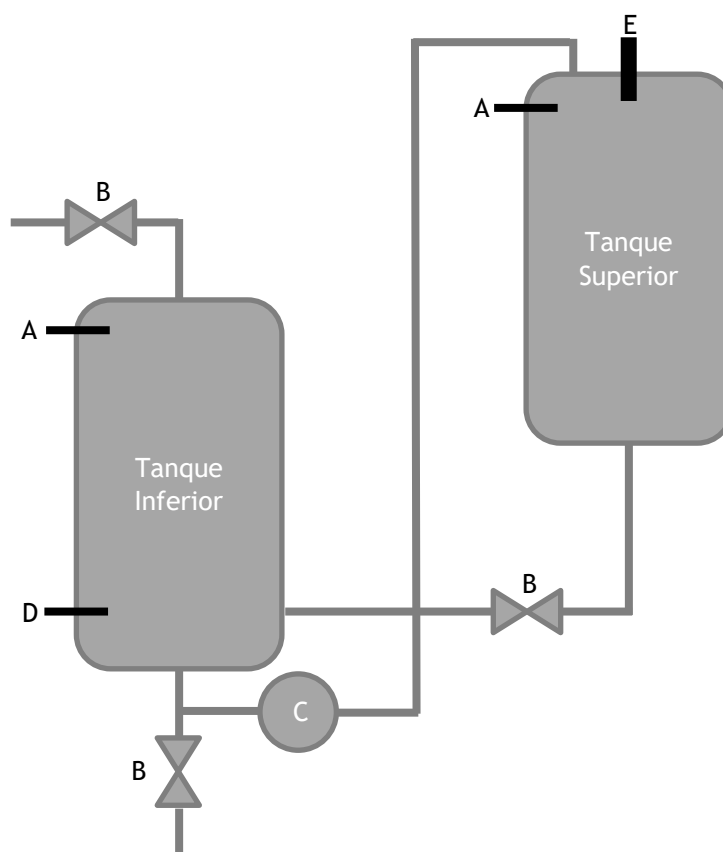


Figura 3.2 - Esquema da estação de nível

Atentando na figura 3.2, é explicado de seguida qual a função de cada componente:

- O tanque inferior é o tanque auxiliar e o tanque superior é onde decorre o controlo do processo;
- Para detetar o nível máximo de água dos tanques, para garantir que não há transbordo dos mesmos, é necessário ter sensores de nível, identificados por “A”. Para este propósito é suficiente utilizar sensores digitais, uma vez que apenas é necessário detetar se os tanques estão cheios ou não;
- Para permitir ou bloquear a passagem de água na entrada e saída do tanque inferior e na saída do tanque superior é necessário ter válvulas, identificadas por “B”. A válvula de entrada do tanque inferior permite o abastecer a estação e a válvula de saída do mesmo permite o seu esvaziamento. A válvula de saída do tanque superior permite que o controlo de nível de água seja dinâmico ou não;
- Uma vez que é necessário enviar água do tanque inferior para o tanque superior há necessidade de utilizar uma bomba de água, identificada por “C”. Para permitir um controlo dinâmico e suave da altura de água no tanque superior, onde decorre o processo contínuo a controlar, esta bomba tem de ser regulável;
- Para garantir que existem condições para o funcionamento da bomba, responsável por bombear a água do tanque inferior para o tanque superior, é necessário utilizar um sensor de nível, identificado por “D”, para detetar se o tanque inferior está vazio ou não;
- Uma vez que nesta estação é necessário controlar o nível de água no tanque superior, é necessário ter um sensor que permita medir a altura de água existente no tanque, identificado por “E”. O sensor utilizado para este propósito tem de permitir medições de nível numa gama de valores, visto o objetivo do mesmo não ser detetar se o nível de água atingiu determinado ponto mas sim qual a quantidade de água presente no tanque.

### 3.3.2 Estação de temperatura

Esta estação do sistema foi desenvolvida com o objetivo de realizar o controlo de temperatura da água num tanque.

Na figura 3.3 é apresentado o esquema proposto da estação de temperatura, onde se pode observar a disposição dos componentes utilizados.

Para além do tanque onde decorre todo o processo contínuo foi inserida uma unidade de arrefecimento na estação. Esta unidade de arrefecimento tem dois objetivos, o primeiro é de facilitar a descida de temperatura quando for desejado, o segundo é de tornar o controlo de temperatura da água dinâmico.

Com recurso à figura 3.3 vão ser de seguida apresentadas as funções de cada um dos componentes inseridos nesta estação:

- Para detetar o nível máximo de água no tanque, para garantir que não há transbordo do mesmo, é necessário utilizar um sensor de nível, identificado por “A”. Para este propósito é suficiente utilizar um sensor digital, uma vez que apenas é necessário detetar se o tanque está cheio ou não;
- Para permitir a entrada ou saída de água da estação ou permitir o fluxo de água pela unidade de arrefecimento é necessário utilizar válvulas, identificadas por “B”;

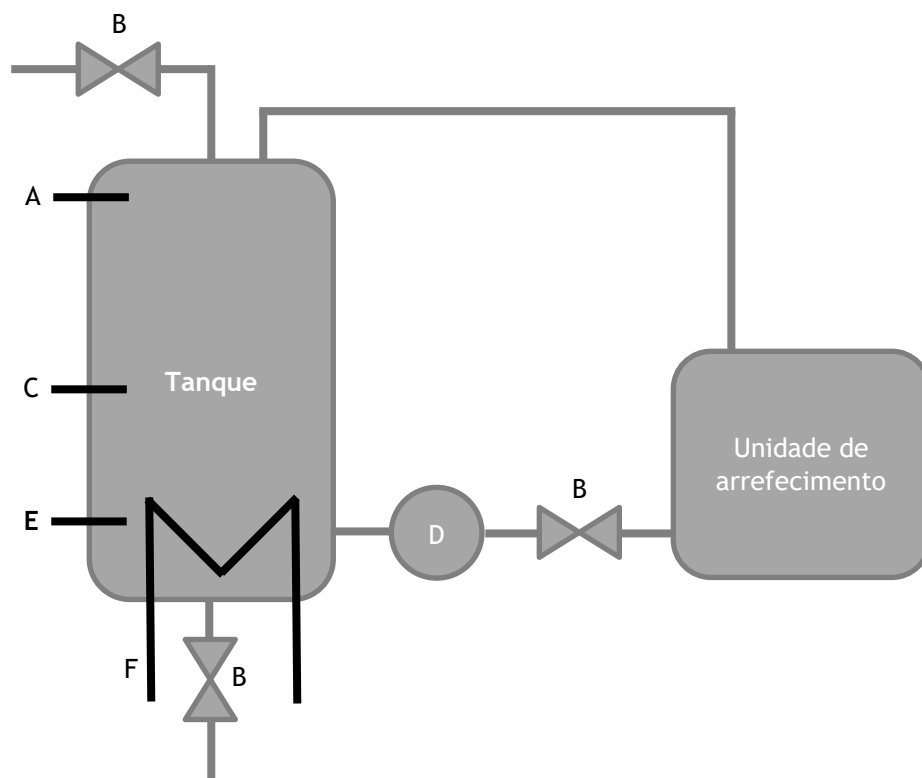


Figura 3.3 - Esquema da estação de temperatura

- Para verificar que a quantidade de água presente na estação é suficiente para realizar o processo e para garantir que a unidade de aquecimento está totalmente submersa, é necessário um sensor de nível, identificado por “C”. Este sensor de nível pode ser digital porque apenas é necessário saber se o nível pretendido é detetado ou não;
- Para tirar partido da unidade de arrefecimento é necessário forçar a água a atravessar a mesma, com esse propósito é necessária uma bomba de água, identificada por “D”. Visto não ser relevante controlar o fluxo de água que atravessa a unidade de arrefecimento, esta bomba de água não precisa de variar nem de ser conhecida a capacidade da mesma, tendo por isso apenas dois estados de funcionamento, ativada ou desativada, sendo controlada digitalmente;
- Uma vez que nesta estação se controla a temperatura da água é necessário ter informação sobre a temperatura a que a água se encontra. Com este propósito é necessário utilizar um sensor de temperatura, identificado por “E”, e colocado numa posição em que é garantido que quando o sensor “C” deteta água o sensor de temperatura está submerso;
- Com o objetivo de subir a temperatura da água, até um máximo de aproximadamente 50°C, ação mais importante desta estação, é necessário utilizar uma unidade de aquecimento, identificada por “F”. Esta unidade de aquecimento tem de ser controlada numa de uma gama de valores entre desligada e ligada ao máximo, por forma a realizar um controlo de temperatura dinâmico.

### 3.3.3 Estação de fluxo

O objetivo desta estação é controlar o volume de água que atravessa uma canalização.

Para desenvolver esta estação é utilizado um tanque que é a origem e o destino de uma canalização onde decorre o processo a controlar.

Na figura 3.4 é apresentado o esquema proposto para a estação de fluxo e são de seguida apresentados os componentes instalados na mesma e qual a sua função:

- Assim como nas outras duas estações é necessário controlar a entrada e saída de água do tanque utilizado. Para esse propósito há necessidade de utilizar duas válvulas, uma instalada na entrada de água do tanque e outra na saída, identificadas por “B”;
- Para não existir transbordo do tanque, é necessário detetar o nível máximo de água no tanque. Para esse fim é necessário um sensor de nível, identificado por “A”;
- É obrigatório existir água no tanque da estação para que seja possível enviar água pela canalização e assim executar este processo. Para detetar o nível considerado aceitável para o funcionamento da estação é necessário um sensor de nível, identificado por “C”.
- Para bombear a água pela canalização é necessário utilizar uma bomba de água. Como a regulação do fluxo de água que atravessa a canalização não é controlada pela bomba, não é necessário controlar a velocidade da mesma. A bomba só precisa de funcionar em dois estados, parada ou à velocidade máxima. A bomba está identificada por “D”, instalada na canalização.
- Para o controlo de fluxo na canalização é necessário ter conhecimento do volume de água que atravessa a mesma. Com esse objetivo é necessário um sensor de fluxo na canalização da estação.

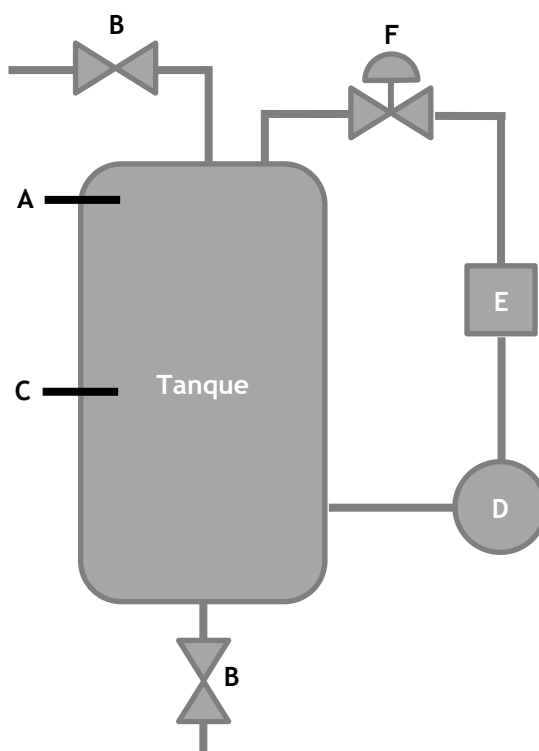


Figura 3.4 - Esquema da estação de fluxo

- Para regular o fluxo de água na canalização é necessário utilizar um componente que possa permitir ou não a passagem de água pela mesma. Contudo tem de ser possível o seu controlo dentro de uma gama de valores, neste caso, entre o bloqueio e a passagem desimpedida da água. Para este propósito é necessária uma válvula que permite a regulação referida, identificada na figura 3.4 por “F”.

### 3.4 Modos de Funcionamento

Por forma a serem cumpridos os requisitos de funcionamento do sistema foram desenvolvidas aplicações no sistema computacional que permitem o controlo do sistema didático de quatro formas diferentes, de onde resultam quatro modos de funcionamento para o mesmo.

Estes modos de funcionamento, desenvolvidos no sistema computacional, são apresentados nas seguintes secções.

#### 3.4.1 Modo Demonstração

Um dos requisitos do sistema didático é realizar uma demonstração do sistema. Com o propósito de demonstrar o funcionamento das estações do sistema, e do controlo do processo associado a cada estação, foi desenvolvida uma aplicação em que o sistema autonomamente, através de uma sequência de ações pré-programadas no sistema computacional, controla as estações e demonstra o seu funcionamento.

A interação do operador com o sistema neste modo de funcionamento é apenas a ordem para iniciar ou interromper a demonstração.

#### 3.4.2 Modo Manual

O controlo manual dos componentes das estações desenvolvidas é também um requisito do sistema didático.

Neste modo de funcionamento é possível que o operador realize um controlo, manual e em tempo real, dos atuadores do sistema e obtenha informação sobre o estado dos sensores, para cada uma das estações desenvolvidas.

Uma vez que os atuadores são controlados manualmente, e individualmente, é mais intuitivo e perceptível se esta interação, entre o operador e o sistema didático, for realizada através de uma interface, apresentada no capítulo 6.

#### 3.4.3 Modo Comunicação Rede

Para realizar o controlo remoto das estações do sistema através de comunicações de rede foi desenvolvido o modo comunicação de rede.

O objetivo neste modo de funcionamento é que os estudantes desenvolvam controladores para os processos associados a cada estação, numa plataforma externa ao sistema.

Neste modo de funcionamento, o controlo dos atuadores instalados nas estações e a leitura do estado dos sensores, é realizado através de comunicações de rede entre o sistema computacional instalado no sistema e a plataforma externa controlada pelo estudante.

### 3.4.4 Modo controlo por sinais digitais e analógicos

Por último, foi desenvolvido o modo de funcionamento que permite o controlo remoto das estações através de sinais digitais e analógicos de cada um dos sinais dos sensores e atuadores do sistema.

O objetivo neste modo de funcionamento é que os estudantes desenvolvam controladores para os processos associados a cada estação, numa plataforma externa ao sistema, mas a comunicação entre os sistemas computacionais é realizada de forma diferente.

Neste modo de funcionamento a comunicação entre o sistema e a plataforma externa é realizada através de ligações entre as saídas da plataforma externa e as entradas do sistema computacional do sistema didático, para o envio de comandos de controlo dos atuadores. Para a leitura do estado dos sensores as entradas da plataforma externa são ligadas diretamente aos sensores do sistema.

Por razões de segurança foi desenvolvido um circuito de isolamento de sinal quando é utilizado este modo de funcionamento, apresentado no capítulo 4.

## 3.5 Interlock

Como o sistema didático desenvolvido é composto por vários atuadores que podem realizar ações perigosas para o utilizador se não forem tomadas as devidas precauções, ou serem danificados os atuadores ou outros componentes do sistema se não se verificarem as condições necessárias ao seu funcionamento, foi desenvolvido o sistema de segurança Interlock.

O Interlock é uma aplicação de segurança desenvolvida no sistema computacional que está em execução sempre que o sistema está ativo. Que tem como objetivo garantir que não é danificado nenhum componente das estações, ou criadas condições para tal, e que não é posta em causa a segurança dos estudantes.

Com este objetivo, se as situações consideradas de risco não se verificarem os comandos são validados. Em caso contrário a ordem é bloqueada e o comando alterado para um estado válido.

Para o desenvolvimento do Interlock foram tidas em conta todas as possibilidades e hipóteses que pudessem colocar ambos numa situação de risco.

# Capítulo 4

## Hardware desenvolvido

Neste capítulo é apresentado o *hardware* desenvolvido para o sistema didático, o sistema computacional utilizado e os componentes instalados em cada uma das estações do sistema.

Para o desenvolvimento do sistema didático tentou-se, dentro do possível, reutilizar material disponível no laboratório de automação e de projetos já descontinuados.

### 4.1 Sistema computacional

De forma a controlar remotamente as estações através de plataformas externas sem ligações diretas, realizar uma demonstração autónoma do sistema e ainda garantir uma utilização segura, tanto para o utilizador como para os componentes do sistema didático, foi instalado um sistema computacional.

Para desempenhar as funções referidas é possível utilizar tipos de controladores diferentes, nomeadamente um computador, um microcontrolador, ou um autómato.

As vantagens dos autómatos relativamente aos outros sistemas computacionais são:

- Dispõem de interfaces elétricas apropriadas a sensores e atuadores;
- Permitem um número de entradas e saídas muito superiores;
- São, por regra, modulares. O que permite alterar a constituição do autómato facilmente de acordo com as necessidades;
- São concebidos para suportar ambientes industriais;
- Permitem facilmente, através de cartas de rede, a interação com outros dispositivos industriais.

Tendo em conta o aproveitamento de material disponível no laboratório de automação, e as vantagens associadas aos mesmos foi utilizado um autómato.

Entre os autómatos disponíveis no laboratório de automação, dos fabricantes Omron, Siemens, e Schneider, decidiu-se utilizar um autómato da Schneider uma vez que a disponibilidade de cartas disponíveis no laboratório era superior em comparação com as restantes fabricantes.

O autómato utilizado no sistema desenvolvido é da marca *Schneider Electric*, modelo TSX Premium.

Para além do processador, é sempre necessário utilizar um módulo de alimentação para o funcionamento do autómato. Foi instalado um módulo de comunicação de forma a ser

possível realizar o controlo remoto do mesmo através de comunicações de rede. A carta de comunicações de rede instalada utiliza rede Ethernet com o protocolo Modbus TCP/IP.

Dos módulos disponíveis no laboratório, por questões de compatibilidade, foram selecionados os seguintes:

- Processador - modelo TSX P57202;
- A fonte de alimentação - modelo TSX PSY2600;
- A carta de rede - modelo TSX ETY110W8.

Para a seleção dos módulos de entradas e saídas foi necessário analisar os requisitos do sistema relativamente à quantidade de entradas e saídas, digitais e analógicas.

No capítulo 3 foram apresentadas as propostas para cada uma das estações desenvolvidas, onde é possível contabilizar o número de sensores e atuadores necessários para o sistema.

É apresentado na tabela 4-1 o número de entradas e saídas, digitais e analógicas, necessárias para cada uma das estações e o total das mesmas. Os sensores e atuadores contabilizados na tabela são apresentados detalhadamente nas secções seguintes.

Tabela 4-1 - Contabilização de sensores e atuadores do sistema

	Estação Nível	Estação Temperatura	Estação Fluxo	Total
Atuadores digitais	3	7	3	13
Atuadores analógicos	1	1	1	3
Sensores digitais	3	2	2	7
Sensores analógicos	1	1	1	3

Tendo em conta que os atuadores do sistema são uma saída do autómato, e os sensores uma entrada, são necessárias 13 saídas e 7 entradas digitais, e 3 saídas e 3 entradas analógicas.

Como os módulos de entradas e saídas dos autómatos são fabricados com um número de entradas ou saídas pré-definido foi necessário escolher entre módulos de 4, 8, ou 16 canais.

Deste modo são necessárias:

- Uma carta de 16 saídas digitais;
- Uma carta de 4 saídas analógicas;
- Uma carta de 8 entradas digitais;
- Uma carta de 4 entradas analógicas.

Contudo, para além da carta saídas digitais que fica com 3 canais disponíveis, as outras cartas ficam sem uma margem aceitável de canais disponíveis. Isto poderia implicar uma alteração de equipamento se fosse necessário utilizar mais canais no sistema, tanto durante o desenvolvimento do sistema didático, como em possíveis trabalhos futuros. Tendo isto em conta, a compatibilidade entre módulos e o material disponível no laboratório de automação, foram selecionadas as seguintes cartas de entradas e saídas:

- TSX DSY16T2 - 16 saídas digitais;
- TSX DEY16D2 - 16 entradas digitais;
- TSX AEY800 - 8 entradas analógicas;
- TSX ASY800 - 8 saídas analógicas;

Na figura 4.1 é apresentada a configuração final do autómato, em que todos os módulos selecionados estão montados num bastidor.



Figura 4.1 - Autómato

## 4.2 Componentes do sistema

### 4.2.1 Componentes comuns

Nesta secção vão ser apresentados alguns componentes comuns a todas as estações desenvolvidas no sistema didático.

#### 4.2.1.1 Reservatório

O sistema desenvolvido, como já referido anteriormente no capítulo 3, contém um reservatório de água, composto por dois tanques de plástico, para que seja possível a retenção da água quando nenhuma das estações está em funcionamento.

Este reservatório foi introduzido com os seguintes propósitos: não ser necessária a inserção de água no sistema sempre que o mesmo for utilizado, prevenindo assim situações de risco para o sistema e aumentando a facilidade de manuseamento do mesmo, não haver retenção de água nas estações a tempo inteiro, por forma a não degradar os materiais e componentes instalados nas estações.



Figura 4.2 - Reservatório

#### 4.2.1.2 Bomba de enchimento

Para realizar o enchimento das estações do sistema a partir do reservatório referido, na secção 4.2.1.1, é necessário utilizar uma bomba de água.

A bomba de água utilizada para este propósito foi retirada de um projeto descontinuado e aproveitada para este sistema uma vez que o caudal máximo da mesma permite o enchimento rápido das estações e tem pressão para a altura de elevação da água desejada.

Para o acionamento desta bomba foi necessário utilizar um relé, uma vez que a tensão nominal da mesma é de 230V, corrente alternada, e a tensão nominal fornecida pela carta de saídas no autómato é de 24V, corrente contínua.



Figura 4.3 - Bomba de enchimento

#### 4.2.1.3 Electroválvulas

A electroválvula foi um componente utilizado em todas as estações. A sua função é permitir ou bloquear a passagem de água.

Uma electroválvula é constituída por uma parte mecânica e uma parte eléctrica, atribuindo-lhe assim o seu nome. A parte mecânica consiste num canal que é bloqueado por um êmbolo não permitindo a passagem de água. Quando o êmbolo é movido a válvula fica aberta, é permitida a passagem de água.

A parte eléctrica consiste numa bobine eléctrica ligada ao êmbolo referido. Quando é aplicado um sinal de tensão à bobine esta cria um campo magnético atraindo o êmbolo e abrindo assim a válvula. Isto aplica-se às válvulas de funcionamento “normalmente fechado”, que é o caso das electroválvulas utilizadas.

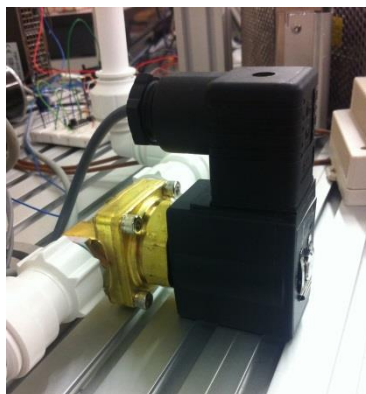


Figura 4.4 - Electroválvula

Um aspeto importante para a seleção das electroválvulas residiu no facto de as cartas de saída digitais seleccionadas, as TSX DSY16T2, terem uma corrente nominal de 500mA por canal, ou seja, a corrente nominal das electroválvulas seleccionadas teria que ser inferior, facto que se verifica uma vez que a corrente nominal das mesmas é de 300mA. As válvulas foram alimentadas com uma tensão de 24V, visto esta ser a tensão nominal das cartas de saídas digitais.

Uma vez que nas canalizações do sistema didático não existe pressão, ou quase nenhuma, uma característica importante das válvulas utilizadas é o facto de serem válvulas de pressão nula, ou seja, não necessitam de pressão de água para abrir ou fechar.

As electroválvulas utilizadas no sistema encontravam-se no laboratório de automação, sem prévia utilização, disponíveis para utilização em trabalhos relacionados com automação e hidráulica. Estas electroválvulas são da marca SMC e de modelo VXZ2230, tendo sido seleccionadas por cumprirem com os requisitos necessários.

#### 4.2.1.4 Sensor capacitivo

Para detetar o nível de água nos tanques nas posições específicas apresentadas nas estruturas das estações, exceto as de máximo, foram utilizados sensores capacitivos.

Os sensores capacitivos apresentam algumas vantagens relativamente a outros tipos de sensores, nomeadamente: a deteção de uma grande variedade de materiais, metais, líquidos ou sólidos; a instalação fácil; e mais importante, para a condição de utilização nas estações do sistema, o facto de conseguirem detetar através de alguns materiais.

Uma vez verificado que a utilização de sensores capacitivos é vantajosa foram utilizados os sensores capacitivos da marca Bernstein, modelo KCB-M18PS, apresentados na figura 4.6, disponíveis no laboratório de automação, com um alcance de 5 mm.



Figura 4.5 - Sensor capacitivo

Além destes serem sensores capacitivos, optou-se pela sua utilização dada a sua alimentação de 24 Volt, sendo esta uma tensão disponível para outros componentes, uniformizando assim as alimentações do sistema.

Estes sensores possuem três cabos necessários ao seu funcionamento:

- Alimentação, a 24 Volt;
- Ligação à massa;
- Sinal (ou saída).

Quando o sensor capacitivo deteta material no seu alcance fecha o contacto entre a alimentação e a saída do mesmo, no caso de sensores do tipo “normalmente aberto”, como é o caso, a partir do qual o autómato obtém a informação sobre o estado do sensor.

#### 4.2.1.5 Sensor de Boia

Para a deteção dos níveis máximos nos tanques das estações desenvolvidas foram utilizados sensores de boia.

A utilização deste tipo de sensores foi tomada uma vez que o seu custo é relativamente baixo e não é necessária uma grande precisão para a deteção do nível máximo dos tanques. A simplicidade de operação e instalação dos mesmos foi também um aspeto considerado.

Os sensores utilizados nos quatro tanques do sistema para detetar a capacidade máxima são sensores de boia da marca Celduc, modelo PTFA3115, apresentados na figura 4.7, disponíveis no laboratório de automação. Estes sensores são um simples interruptor elétrico atuado por um campo magnético, mais conhecido por “interruptor *reed*”.

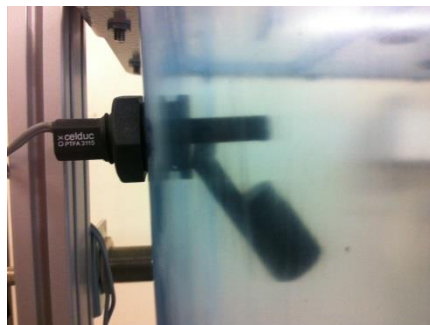


Figura 4.6 - Sensor de boia

Quando a parte móvel do sensor, que contém um íman, está perto o suficiente da parte fixa, que contém o “Interruptor *reed*”, o contacto é fechado. Quando é excedida a distância mínima para o íman ter efeito no interruptor, o contacto abre.

Para a seleção destes sensores foi ainda verificado se os mesmos suportavam o funcionamento às tensões utilizadas no sistema, o que pôde ser confirmado, uma vez que os mesmos suportam tensões na ordem dos 300 Volt e correntes na ordem dos 2,5 Ampere.

Para a ligação dos sensores utilizados, um dos lados do interruptor é alimentado a partir das fontes de alimentação do sistema, de 24 Volt, e o outro lado ligado à carta de entradas digitais do autómato.

#### 4.2.1.6 Canalizações

Para realizar as ligações necessárias, entre as estações e o reservatório de água e as ligações incluídas em cada estação, para conduzir a água foram utilizados tubos de PVC. Esta escolha deveu-se ao facto destes permitirem alguma facilidade de manuseamento e corte para ajuste do tamanho necessário a cada ligação.

Para realizar a ligação entre tubos de PVC, os tanques, as bombas, as válvulas e entre os próprios tubos foram utilizados acessórios de fixação à pressão de PVC.

#### 4.2.1.7 Tanques

Os tanques utilizados, em cada uma das estações, são da FESTO e estavam já disponíveis na faculdade com o objetivo de serem integrados num trabalho relacionado com sistemas de automação. Os tanques utilizados neste projeto são tanques de acrílico, com formato de um paralelepípedo e têm a capacidade operacional de 10 litros.

Estes tanques contêm furações nas laterais, para ligação de tubagens e montagem de sensores, uma furação na parte inferior para escoamento do mesmo, e furações no topo para entradas de água. O tanque utilizado para a estação de temperatura tem duas furações especiais para a instalação de uma unidade de aquecimento e um sensor de temperatura na parte frontal.

Tanto os tanques utilizados como o restante equipamento do sistema estão instalados numa bancada com uma estrutura em alumínio.

Os tanques são apoiados em duas calhas, que por sua vez estão fixas à bancada.

#### 4.2.2 Estação de nível

Nesta secção é apresentada a arquitetura da estação de nível. É possível realizar uma análise mais detalhada da estação desenvolvida, com recurso à informação, relativa aos componentes comuns do sistema, apresentados na secção 4.2.1, e apresentada nesta secção, relativa aos componentes da estação de nível. No final da secção é feito um sumário dos componentes utilizados na estação.

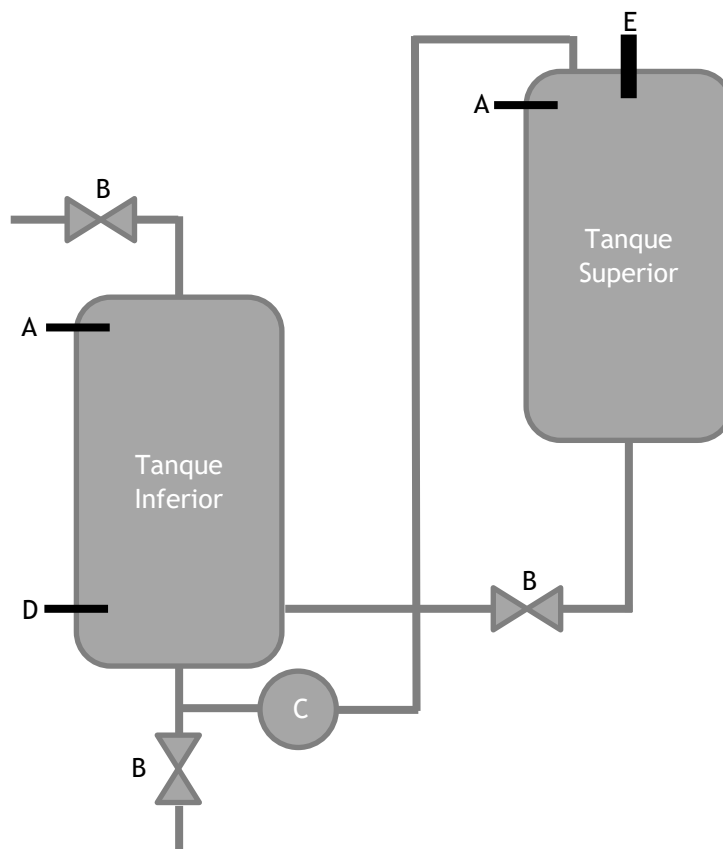


Figura 4.7 - Esquema da estação de nível

São de seguida identificados os componentes utilizados para cada posição:

- A - Os sensores de nível utilizados nesta posição são os sensores de boia apresentados na secção 4.2.1.5;
- B - As válvulas utilizadas nesta posição são as electroválvulas apresentadas na secção 4.2.1.3;

- C - A bomba de água utilizada nesta posição é a bomba de água regulável apresentada na secção 4.2.2.1;
- D - O sensor de nível utilizado nesta posição é o sensor capacitivo apresentado na secção 4.2.1.4;
- E - O sensor de nível analógico utilizado nesta posição é o sensor de ultrassons apresentado na secção 4.2.2.2.

#### 4.2.2.1 Bomba regulável

Na estação de nível é necessário enviar a água do tanque inferior para o tanque superior. Para esse efeito foi utilizada uma bomba de água.

A bomba utilizada nesta estação é uma bomba de corrente contínua com tensão nominal de 12 Volt e com corrente nominal, à velocidade máxima, de 4,5A. Esta bomba foi aproveitada de outros projetos descontinuados, apresentada na figura 4.9.

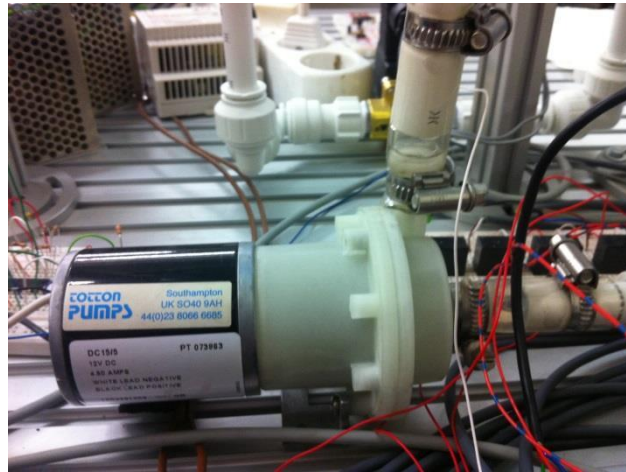


Figura 4.8 - Bomba Regulável

Sendo a bomba responsável por bombear água para o tanque superior, onde se pretende controlar a altura de água no tanque, para que seja possível realizar o controlo dinâmico do processo é necessário regular a velocidade da mesma.

Como o motor da bomba de água utilizada é um motor de corrente contínua e a mesma não tem incluído um controlador de velocidade foi necessário desenvolver um circuito de controlo de velocidade para a bomba.

Uma vez que a velocidade de um motor de corrente contínua é, aproximadamente, diretamente proporcional à tensão de alimentação e que nas cartas de saídas analógicas do autómato é possível utilizar um sinal de 0 a 10 Volt, optou-se pelo controlo da velocidade através de variação da tensão de alimentação

Dos métodos existentes para controlar a velocidade de motores de corrente contínua o mais eficiente, que permite correntes mais elevadas, que permite o controlo a velocidades mais baixas e um controlo bastante linear em quase toda a gama de funcionamento dos motores é o PWM, sendo por isto o método utilizado para controlar a velocidade da bomba de água utilizada.

Para regular a velocidade da bomba é enviado, por parte do autómato, um sinal analógico para o circuito de controlo PWM, que controla a bomba mediante o valor recebido do autómato.

É apresentado na figura 4.10 o circuito de controlo PWM. Para o circuito PWM desenvolvido foi utilizada parte de um circuito de controlo PWM já desenvolvido e testado, em que o PWM varia através de da variação aplicada a um potenciómetro ligado à entrada negativa do U1D.

Os três primeiros amplificadores operacionais do circuito, identificados U1A, U1B e U1C, são responsáveis por gerar uma onda triangular entre os zero e os dez Volt. O amplificador operacional identificado U1D funciona como comparador entre a onda triangular gerada e o sinal de controlo, proveniente do autómato.

O sinal de controlo no circuito funciona como sinal de referência para o comparador, sendo que quando o valor da onda triangular é superior ao sinal de controlo a saída do comparador coloca tensão na base do transístor, identificado Q1. Quando isto acontece o transístor permite a passagem de corrente entre o coletor e o emissor ativando assim a bomba. Quando o valor da onda triangular é inferior ao sinal de controlo não é colocada tensão na base do transístor, não permitindo a condução entre o coletor e emissor do mesmo e não alimentando a bomba. A conjugação destes dois estados gera um sinal de PWM, permitindo assim o controlo da velocidade da bomba.

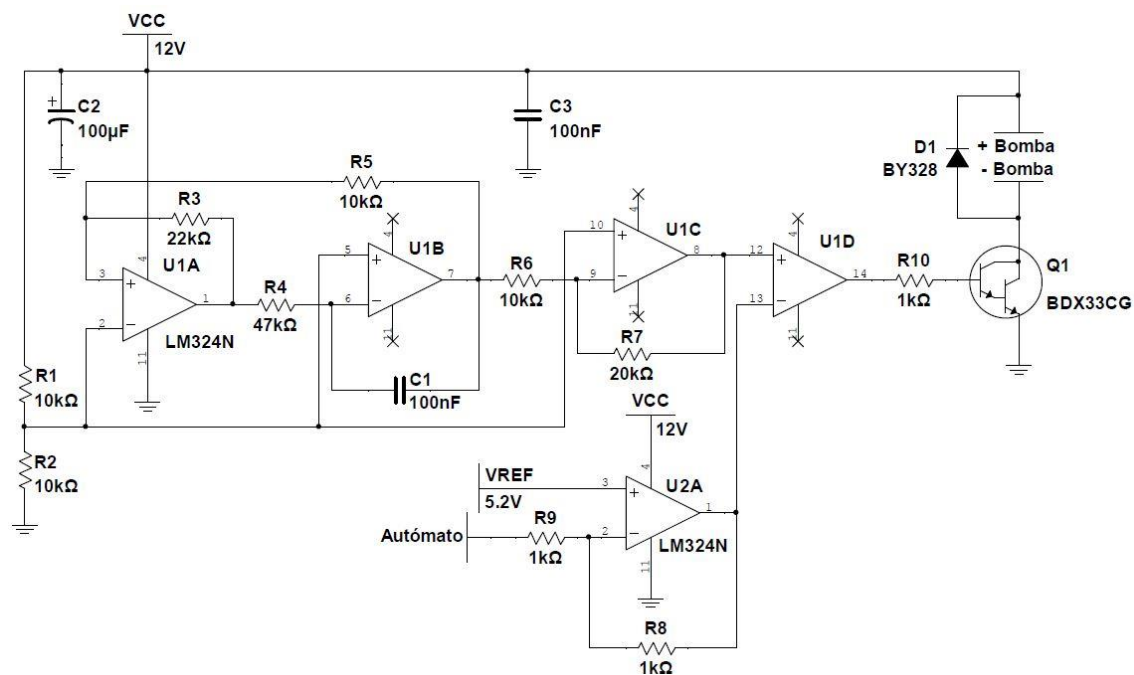


Figura 4.9 - Esquema do circuito elétrico de PWM

#### 4.2.2.2 Ultrassons

Para realizar a medição da altura de água no tanque superior da estação de nível foi instalado um sensor ultrassons. Este sensor utilizado no sistema já estava no laboratório de automação para ser utilizado em conjunto com os tanques da FESTO anteriormente referidos. É um sensor da marca Siemens, modelo 3RG62 32-3JS00.



Figura 4.10 - Sensor Ultrassons

Um sensor ultrassons funciona da seguinte forma: é enviada pelo sensor uma onda sonora com o sensor devidamente apontado na direção do objeto ao qual se quer medir a distância. Esta onda, depois de refletida no objeto é recebida pelo sensor e o mesmo realiza os cálculos da distância tendo em conta o tempo de voo da onda, e a velocidade do som.

A tensão de alimentação do sensor é de 24 Volt, mas o mesmo permite uma gama de alimentação entre 12 e 30 Volt. O alcance de medição do sensor é de 5 a 30 centímetros e tem um sinal de saída analógico na gama de 0 a 10 Volt. Apesar de este sensor permitir uma configuração do sinal de saída e outras configurações avançadas, foi utilizado na sua configuração de fábrica uma vez que o sinal de saída do mesmo mantinha as características de outros utilizados no sistema.

#### 4.2.2.3 Componentes utilizados na estação de nível

É apresentado na tabela 4-2 um resumo dos componentes, sensores e atuadores, utilizados nesta estação. Esta tabela permite identificar quais são os componentes instalados na estação de nível e ter a perceção dos valores apresentados, para esta estação, na tabela 4-1.

Tabela 4-2 - Resumo dos componentes da estação de nível

	Digitais		Analógicos	
Sensores	Sensor de boia tanque inferior (24V) Sensor de boia tanque superior (24V) Sensor capacitivo tanque inferior (24V)	3	Sensor de Ultrassons (0-10V)	1
Atuadores	Electroválvula de entrada (24V) Electroválvula de saída (24V) Electroválvula entre tanques (24V)	3	Bomba regulável (0-10V)	1

### 4.2.3 Estação de temperatura

Nesta secção é apresentada a arquitetura da estação de temperatura, para ser analisada detalhadamente com acesso à informação dada anteriormente na secção 4.2.1, relativa aos componentes comuns do sistema, e nesta secção, relativa aos componentes da estação de temperatura. No final da secção é feito um sumário dos componentes utilizados na estação.

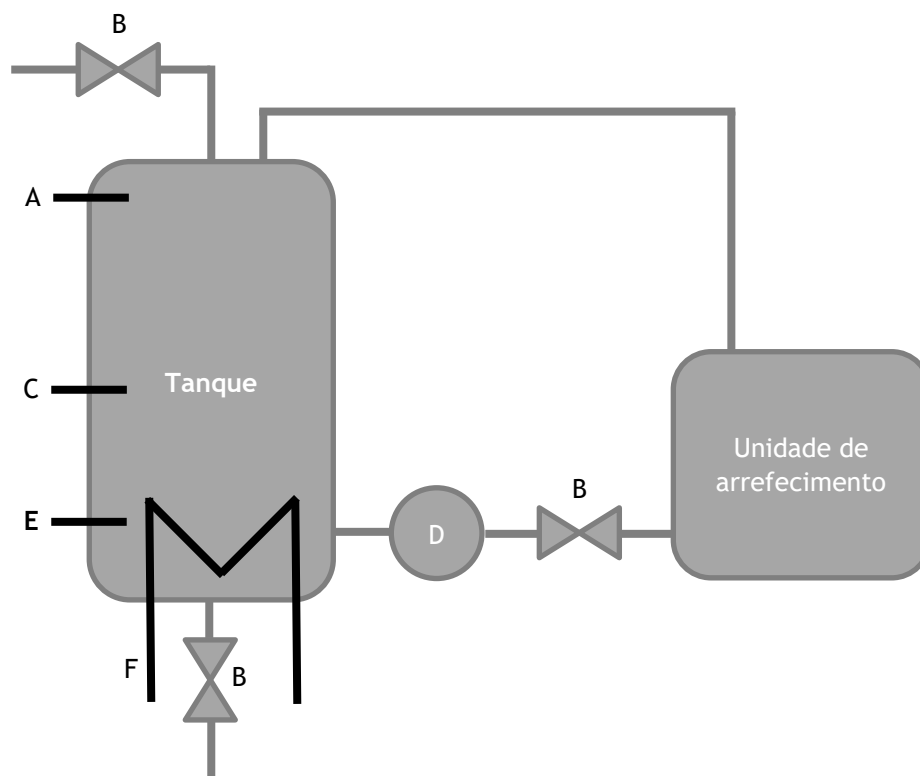


Figura 4.11 - Esquema da estação de temperatura

São de seguida identificados os componentes utilizados para cada posição:

- A - O sensor de nível utilizado nesta posição é o sensor de boia apresentado na secção 4.2.1.5;
- B - As válvulas utilizadas nestas posições são as electroválvulas apresentadas na secção 4.2.1.3;
- C - O sensor de nível utilizado nesta posição é o sensor capacitivo apresentado na secção 4.2.1.4;
- D - A bomba de água utilizada nesta posição é a bomba de água apresentada na secção 4.2.3.4;
- E - O sensor de temperatura utilizado nesta posição é o sensor apresentado na secção 4.2.3.2;
- F - A unidade de aquecimento utilizada nesta posição é a resistência de aquecimento apresentada na secção 4.2.3.1;
- A unidade de arrefecimento é apresentada na secção 4.2.3.3.

#### 4.2.3.1 Unidade de aquecimento

Para realizar o aquecimento da água nesta estação foi utilizada uma resistência de aquecimento da FESTO. Esta resistência já estava no laboratório de automação para ser montada no tanque utilizado, encontrando-se a resistência de aquecimento preparada e o tanque utilizado para esta estação com as furações necessárias para a instalação da mesma.



Figura 4.12 - Resistência de aquecimento

A resistência de aquecimento é alimentada a 230V, em corrente alternada, mas o circuito de controlo inserido na mesma é alimentado a 24V, em corrente contínua.

O circuito de controlo da resistência de aquecimento utilizado permite dois modos de funcionamento, um modo de controlo digital e um modo de controlo analógico, que são seleccionados conforme os sinais enviados para duas entradas do controlador, entrada digital e entrada analógica.

No modo digital é necessário alimentar a entrada analógica com 24 Volt, e o sinal de controlo da resistência de aquecimento é recebido na entrada digital, à tensão de 24 Volt.

No modo analógico é necessário alimentar a entrada digital com 24 Volt, e o sinal de controlo da resistência de aquecimento é recebido na entrada analógica, com tensões entre 0 e 10 Volt.

Para ativação da bomba é utilizado um sinal digital de 24 Volt, ligado à carta de saídas digitais do automático. E para controlar o aquecimento da resistência é utilizado um sinal analógico, na gama 0 a 10 Volt, proveniente da carta de saídas analógicas do automático.

#### 4.2.3.2 Sensor de temperatura

Para a medição de temperatura foi utilizado um sensor de temperatura RTD, *resistive temperature device*.

Este tipo de sensores relaciona a temperatura do material por que são compostos com a sua resistência elétrica. Estes sensores de temperatura são muito precisos, têm uma gama de operação muito grande e mantêm as suas características, próprias para uma medição precisa, durante muitos anos.

O sensor de temperatura utilizado na estação de temperatura foi uma PT100. Assim como a resistência de aquecimento este sensor já estava no laboratório de automação preparado para montagem no tanque utilizado nesta estação.

Um sensor de temperatura PT100 é um sensor de platina que utiliza a variação da resistência, conforme a temperatura a que a resistência de platina está exposta, para indicar a temperatura. Uma PT100 tem a resistência de 100 Ohm a 0 graus, e aumenta o seu valor conforme vai aumentando a temperatura.



Figura 4.13 - Sensor de temperatura PT100

Como o sensor por si só é apenas uma resistência e não emite um sinal analógico, para ser lido pela carta de entradas analógicas do autômato, foi utilizado um módulo interface analógico. Este módulo realiza a alimentação e conversão do sinal que recebe da PT100 num sinal analógico. As ligações realizadas entre a PT100 e o conversor foram realizadas de modo a que o sinal fornecido pelo mesmo seja na gama de valores utilizada no resto do sistema, ou seja 0 a 10 Volt.

O módulo utilizado é da marca Schneider Eletric, modelo RMPT33BD, adquirido juntamente com o sensor de temperatura.

#### 4.2.3.3 Unidade de arrefecimento

Com objetivo de reduzir a temperatura da água no tanque da estação a unidade de arrefecimento é composta por dois radiadores e quatro ventoinhas.

Apesar de a descida de temperatura não ser tão acentuada como em algumas unidades de arrefecimento disponíveis no mercado, foram utilizados radiadores e ventiladores de um sistema de refrigeração para componentes de computadores. Visto o custo das mesmas ser muito elevado e não ser necessário um arrefecimento muito acentuado.

Para a atuação dos ventiladores foi necessária a utilização de um relé. Uma vez que a tensão de funcionamento dos ventiladores é de 12V e a carta de saídas do autômato é de 24V e também pelo facto da corrente nominal das ventoinhas utilizada ser superior à corrente nominal fornecida, por canal, por parte da carta de saídas digitais do autômato.

#### 4.2.3.4 Bomba de água

Para fazer a água da estação circular pela unidade de arrefecimento foi utilizada uma bomba de água de corrente contínua. Não sendo necessário regular a velocidade, esta bomba foi controlada digitalmente.

A bomba de água utilizada, assim como os radiadores e as ventoinhas referidas na secção anterior, foi adquirida no mercado de refrigeração a água para componentes de computadores. Não foi efetuada uma pesquisa extensa para a sua seleção, visto os mesmos cumprirem com os requisitos para as funções desejadas.

Para a atuação da bomba foi utilizado um relé pelas mesmas razões dos ventiladores da unidade de arrefecimento.

#### 4.2.3.5 Misturador

Uma vez que no tanque desta estação é realizado o aquecimento da água e é necessário medir a temperatura da mesma a função do misturador é uniformizar a temperatura da água por todo o tanque, pois de outra maneira a leitura da temperatura não seria a correta.

O misturador é o componente responsável por movimentar a água dentro do tanque.

O misturador é simplesmente um motor de corrente contínua de rotação elevada onde se encontra acoplado ao rotor do mesmo um cabo com uma ventoinha plástica na outra extremidade. O controlo do misturador é realizado digitalmente, à tensão de 24 Volt.

Para a ligação do misturador foi necessária a utilização de um relé devido à corrente nominal do mesmo ser 860mA, ou seja, consideravelmente superior à corrente máxima fornecida pela carta de saídas digitais.

#### 4.2.3.6 Componentes utilizados na estação de temperatura

É apresentado na tabela 4-3 um resumo dos componentes, sensores e atuadores, utilizados nesta estação. Esta tabela permite identificar quais são os componentes instalados na estação de temperatura e ter a perceção dos valores apresentados, para esta estação, na tabela 4-1.

Tabela 4-3 - Resumo dos componentes da estação de temperatura

	Digitais		Analógicos	
Sensores	Sensor de boia tanque (24V) Sensor capacitivo tanque (24V)	2	PT100 (0-10V)	1
Atuadores	Electroválvula de entrada (24V) Electroválvula de saída (24V) Electroválvula do radiador (24V) Misturador (24V) Ventoinhas (12V) Bomba de água (12V) Resistência de aquecimento (24V)	7	Resistência de aquecimento (0-10V)	1

#### 4.2.4 Estação de fluxo

Nesta secção é apresentada a arquitetura da estação de fluxo e os componentes utilizados na mesma. Com a informação obtida na apresentação dos componentes da estação e nas secções dos componentes comuns do sistema é possível realizar uma análise detalhada da estrutura da estação. No final da secção é feito um sumário dos componentes utilizados na estação.

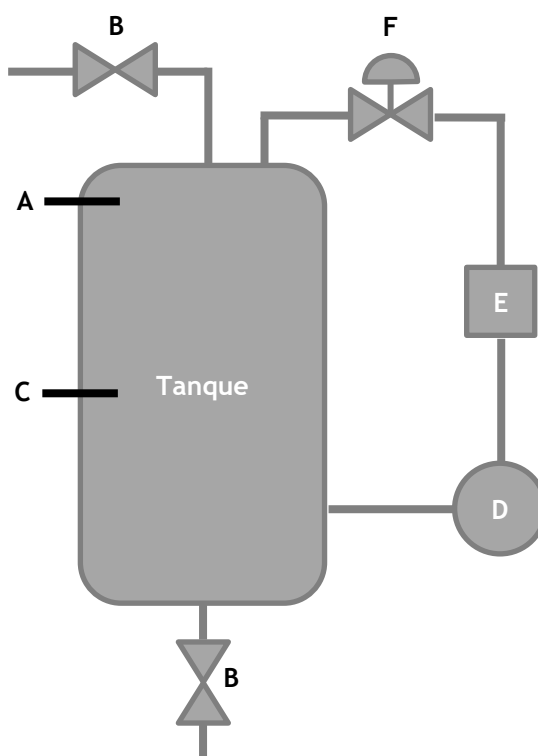


Figura 4.14 - Esquema da estação de fluxo

São de seguida identificados os componentes utilizados para cada posição:

- A - O sensor de nível utilizados nesta posição é o sensor de boia apresentado na secção 4.2.1.5;
- B - As válvulas utilizadas nestas posições são as electroválvulas apresentadas na secção 4.2.1.3;
- C - O sensor de nível utilizado nesta posição é o sensor capacitivo apresentado na secção 4.2.1.4;
- D - A bomba de água utilizada nesta posição é igual à bomba de água apresentada na secção 4.2.3.4;
- E - O sensor de fluxo utilizado nesta posição é o caudalímetro apresentado na secção 4.2.4.1;
- F - A válvula utilizada nesta posição é a válvula proporcional apresentada na secção 4.2.4.2;

#### 4.2.4.1 Caudalimetro

Para medir o volume de água que atravessa a canalização desta estação é utilizado um caudalimetro. O caudalimetro utilizado foi aproveitado de um trabalho descontinuado.

Este sensor é constituído por uma parte fixa e por um pequeno rotor. A parte fixa do sensor, que envolve o rotor, é transparente e contém dois foto-transístores apontados na direção do rotor. O rotor é constituído por duas pás inclinadas, que rodam proporcionalmente à quantidade de líquido que por elas passa. Quando as pás passam pelo foto-transistor interrompem o feixe infra vermelho e desta forma é gerado um sinal de saída de impulsos.

Uma vez que a frequência do sinal gerado pelo caudalimetro é muito elevada para a velocidade de aquisição da carta de entrada digitais, foi necessário realizar uma conversão do sinal de digital para analógico.

O sinal de impulsos gerado pelo caudalimetro é convertido para um sinal analógico, através de um conversor de frequência para sinal analógico, apresentado na figura 4.19, permitindo assim a leitura do sinal por parte da carta de entradas analógicas do automático.

Foi necessário utilizar um regulador de tensão, referência L7805, para fornecer cinco Volt para alimentar o caudalimetro utilizado.



Figura 4.15 - Conversor de frequência para analógico

#### 4.2.4.2 Válvula proporcional

Na regulação do volume de água a passar pela canalização onde se realiza o processo a controlar é utilizada uma válvula proporcional.

O funcionamento da válvula proporcional tem algumas semelhanças com o das electroválvulas, apresentadas na secção 4.2.1.3, embora o movimento do êmbolo não tenha apenas duas posições. O controlo da posição do êmbolo não é digital como nas electroválvulas mas feito através de um sinal analógico. O sinal analógico enviado para a válvula proporcional é convertido, por um circuito interno da válvula, num sinal PWM que conforme o seu valor regula a posição do êmbolo.



Figura 4.16 - Válvula proporcional

Nesta válvula é possível definir, através de interruptores internos, qual o tipo de sinal analógico utilizado para controlo: 4 a 20mA, 0 a 20mA ou 0 a 10Volt. No sistema desenvolvido foi utilizado um sinal de 0 a 10 Volt para realizar o controlo da válvula proporcional, por forma a existir uma uniformidade nos sinais analógicos utilizados.

#### 4.2.4.3 Componentes utilizados na estação de fluxo

É apresentado na tabela 4-3 um resumo dos componentes, sensores e atuadores, utilizados nesta estação. Esta tabela permite identificar quais são todos os componentes instalados na estação de fluxo e ter a perceção dos valores apresentados, para esta estação, na tabela 4-1.

Tabela 4-4 - Resumo dos componentes da estação de fluxo

	Digitais		Analógicos	
Sensores	Sensor de boia tanque (24V) Sensor capacitivo tanque (24V)	2	Caudalimetro (0-10V)	1
Atuadores	Electroválvula de entrada (24V) Electroválvula de saída (24V) Bomba de água (12V)	3	Válvula Proporcional (0-10V)	1



O circuito desenvolvido para o isolamento de sinal analógico é apresentado na figura 4.22. Uma parte do circuito tinha sido já desenvolvida anteriormente e foi utilizada para construir um circuito de isolamento, que realiza-se o isolamento apropriado para os sinais analógicos utilizados no sistema.

Para que o tratamento de sinal realizado fosse o adequado, foi desenvolvido um pequeno circuito que através da alimentação utilizada no circuito de isolamento, 24 Volt e 0 Volt, cria uma massa virtual com 12 Volt. Esta terra virtual está identificada na figura por “GND” e corresponde ao local onde são ligados os pontos de massa do sinal de entrada e do sinal isolado de saída.

O amplificador operacional identificado por U3A desempenha a função de comparador, entre o GND e o sinal de entrada, identificado por “Sinal”.

À medida que o sinal de entrada aumenta, o amplificador operacional permite a passagem de mais corrente nos foto díodos dos opto acopladores, que por sua vez, através do aumento de intensidade no feixe luminoso enviado dos foto díodos para os foto transístores, permitem que a corrente conduzida pelos foto transístores aumente também.

Este processo permite ao opto acoplador identificado por U1 a condução de corrente entre a alimentação e a massa, atravessando a resistência identificada por R1, e a produção de uma variação de tensão à entrada da resistência R4, variação essa que é proporcional à do sinal de entrada.

O opto acoplador identificado por U2 tem como função melhorar a linearidade do circuito.

Foi necessário introduzir um amplificador operacional, identificado por U3B, uma vez que o sinal produzido à entrada da resistência R4 varia de acordo com o sinal de entrada, mas não é igual em forma e valor ao mesmo. Assim, para que o sinal de saída do circuito seja uma réplica exata do sinal de entrada, é realizada uma inversão do sinal e respetiva multiplicação por 3.

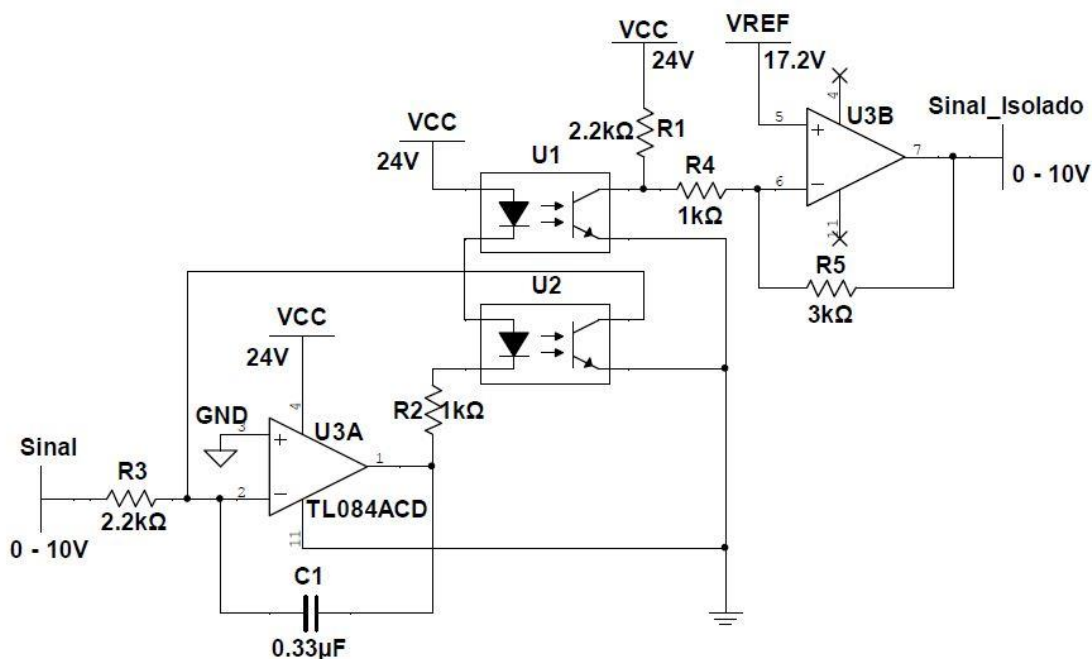


Figura 4.18 - Esquema do circuito de isolamento analógico

### 4.3.3 Resultados obtidos

O circuito de isolamento de sinal digital foi testado com sucesso utilizando sinais de 24V, para os quais foi desenvolvido. Contudo, como exemplo de validação, apresentado na figura 4.19, o circuito foi testado com recurso aos geradores de sinal do laboratório de automação utilizando uma onda quadrada com a amplitude máxima possível dos mesmos.

É possível verificar na figura que o circuito tem um atraso significativamente reduzido entre o sinal de entrada, 1, e o sinal de saída, 2.

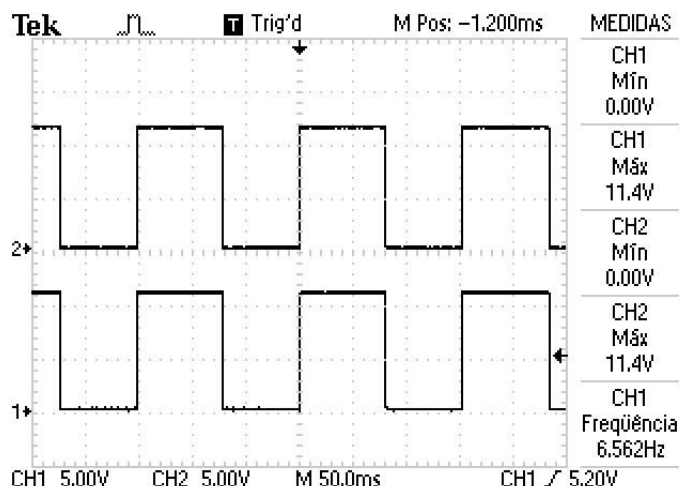


Figura 4.19 - Teste circuito de isolamento digital

O circuito de isolamento de sinal analógico foi testado com sucesso na gama de valores para o qual foi desenvolvido, 0 a 10 Volt.

Na figura 4.20 é possível verificar que o sinal de saída, 2, é praticamente uma replica exata do sinal de entrada, 1.

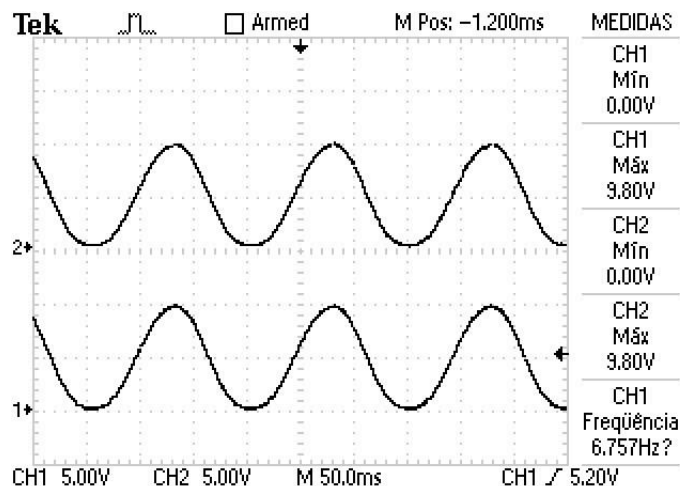


Figura 4.20 - Teste circuito de isolamento analógico

## Capítulo 5

# Arquitetura de Software

Neste capítulo é apresentada a arquitetura de *software* desenvolvido. É apresentado o conceito de funcionamento para cada modo desenvolvido e, por fim, é descrita a função do interlock programado.

### 5.1 Arquitetura proposta

Como apresentado no capítulo 4, foi utilizado um autômato no sistema didático onde foram desenvolvidas as aplicações necessárias para o funcionamento do sistema, segundo os requisitos apresentados no capítulo 3.

Foram desenvolvidas quatro aplicações para executar os modos de funcionamento requeridos.

O processador do autômato utilizado executa as aplicações desenvolvidas de forma cíclica e segundo uma ordem definida. A leitura do estado dos sensores é realizada no início de cada ciclo do processador e a atuação das saídas no final.

A arquitetura do *software* desenvolvido é apresentada na figura 5.1, onde é possível observar a aplicação de leitura, os modos de funcionamento, de seguida o Interlock e no final a aplicação de escrita, na ordem de execução das aplicações. Ainda na figura 5.1 é possível observar alguns blocos de variáveis, que representam a alocação de informação ao longo de cada ciclo do processador, sendo que os blocos identificados por [2], [3] e [4] correspondem à mesma posição de memória.

No início de cada ciclo do processador, é executada a aplicação de leitura, na qual todas as variáveis de entradas, digitais e analógicas, são copiadas para um bloco de variáveis de memória do autômato definidas com o propósito de disponibilizar a informação do estado do sistema para as várias aplicações de controlo desenvolvidas.

A aplicação de leitura acede às variáveis de entrada do autômato identificadas por [1], na figura 5.1, e atribui o valor das mesmas às variáveis de memória identificadas por [2].

Depois da execução da aplicação de leitura, é executado uma das quatro aplicações desenvolvidas para controlar o sistema. Para além dos quatro modos de funcionamento, o

sistema pode estar num estado de espera em que nenhuma das respetivas quatro aplicações se encontra em execução.

A execução das aplicações desenvolvidas para controlar o sistema é mutuamente exclusiva, ou seja, só uma das aplicações pode estar ativa, impedindo assim que exista conflito entre comandos enviados para o sistema por mais do que uma aplicação. Deste modo, é possível no mesmo modo de funcionamento controlar uma ou mais estações do sistema, não sendo no entanto possível controlar as estações em modos de funcionamento diferentes.

O comando de execução das aplicações de controlo é realizado através do estado de um bit de memória definido para cada uma das aplicações, sendo que se o mesmo estiver no nível logico 1 a aplicação é executada e no nível logico 0 não é executada.

Depois de dada a ordem de execução de uma das aplicações de controlo desenvolvidas, a aplicação ativa acede às variáveis de memória [2] para obter informação sobre o estado do sistema e atribui os valores alterados pela aplicação, relativos aos atuadores do mesmo, às variáveis de memória [3].

A aplicação de controlo por sinais digitais e analógicos não acede às variáveis de memória [2] que contêm a informação do estado do sistema, uma vez que essa informação é obtida diretamente a partir dos sensores.

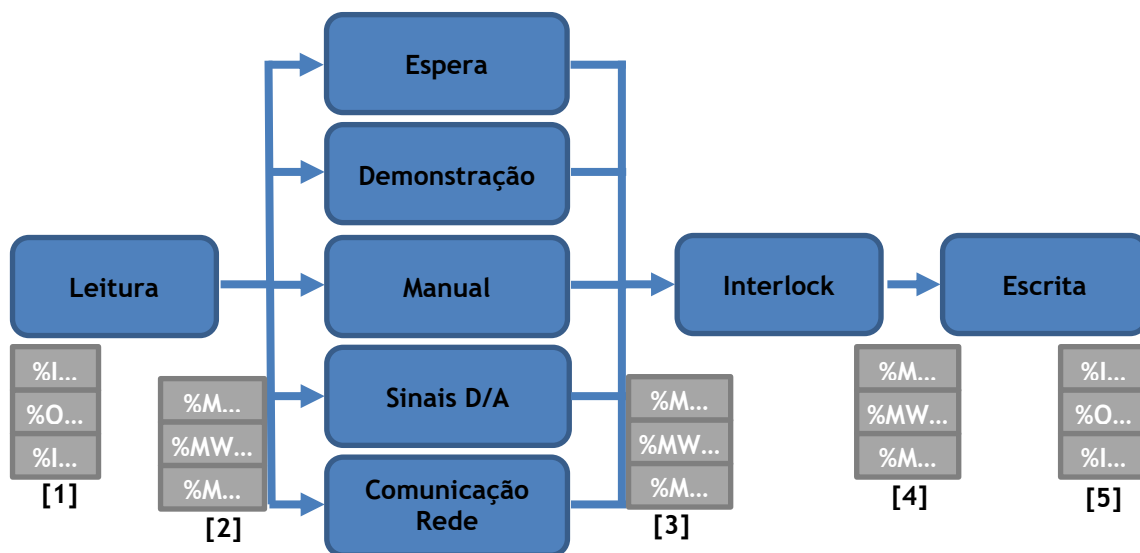


Figura 5.1 - Arquitetura do Software desenvolvido

Acompanhando ainda o ciclo do processador, representado na figura 5.1, depois de executada uma das quatro aplicações desenvolvidas para controlar o sistema, e realizadas as alterações às variáveis de memória [3] pela mesma, é executada a aplicação interlock.

A aplicação interlock verifica se os comandos enviados para os atuadores não colocam em risco o sistema ou o utilizador. Nesta situação, a aplicação não realiza alterações das variáveis de memória [3] para as [4]. Caso contrário, altera o valor das variáveis de memória que possam criar risco para o sistema e atribui um novo valor às variáveis de memória [4].

No final do ciclo, as variáveis de memória [4] já validadas pelo interlock, são atribuídas às variáveis de saída, digitais e analógicas, com recurso à aplicação escrita.

A utilização de variáveis de memória justifica-se pelo facto de ser necessário disponibilizar a informação relativa ao estado dos sensores do sistema para as várias aplicações, para que o interlock possa atuar eficazmente antes de serem atuadas saídas com valores prejudiciais para o sistema e porque tanto no modo de comunicação por rede, como na comunicação com a interface são apenas acessíveis variáveis de memória do autómato.

Para guardar a informação relativa aos sensores e atuadores digitais é suficiente utilizar variáveis de memória que tenham dois estados. Assim as variáveis de memória utilizadas para guardar a informação relativa aos sensores e atuadores digitais são do tipo “EBOOL”.

Para guardar a informação relativa aos sensores e atuadores analógicos é necessário utilizar variáveis que permitissem armazenar valores para as gamas dos valores dos sinais analógicos de 0 a 10 Volt utilizados no sistema. Assim, as variáveis de memória utilizadas para guardar a informação relativa aos sensores e atuadores analógicos são *words* de memória.

Relativamente às atribuições de variáveis referidas anteriormente, entre as aplicações desenvolvidas, é apresentado, na figura 5.2, um diagrama que permite obter uma melhor perceção acerca das mesmas.

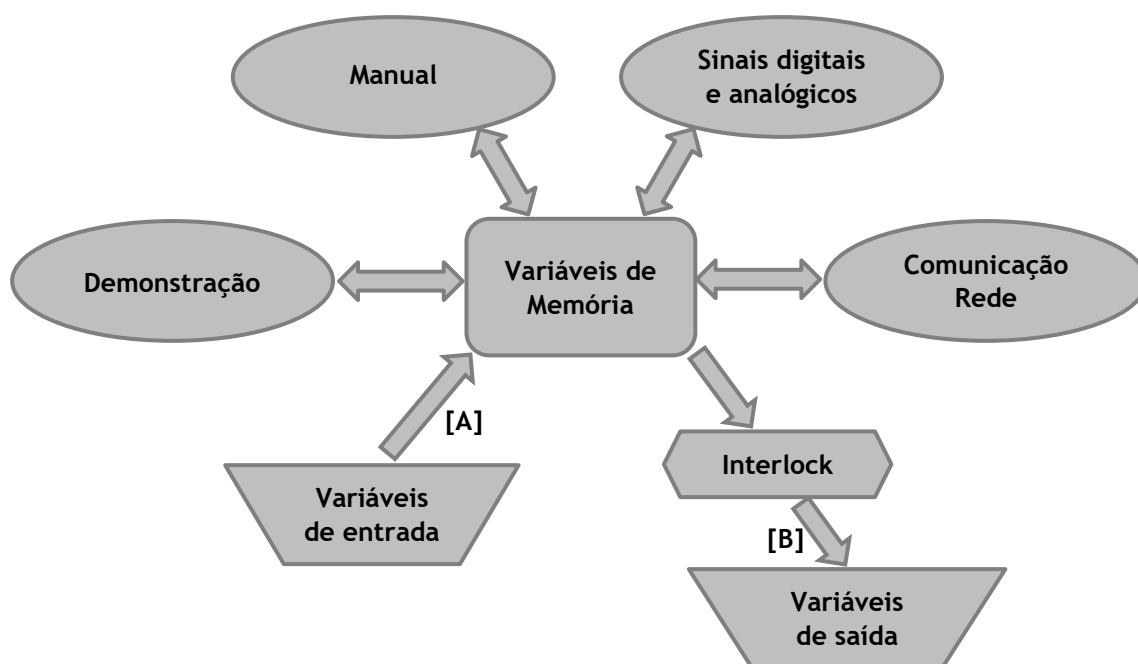


Figura 5.2 - Relação entre variáveis do sistema

Através da aplicação de leitura, identificado na figura por [A], é atribuído o valor das variáveis de entrada a variáveis de memória definidas. As aplicações acedem a essas variáveis de memória para obterem informação sobre o estado dos sensores e atribuir os valores para os atuadores do sistema.

O interlock valida, ou não, os comandos a enviar para os atuadores do sistema e o programa de escrita, identificado na figura por [B], atribui o valor das variáveis de memória às variáveis de saída do sistema.

## 5.2 Modos de funcionamento

Como já referido nos capítulos anteriores, foram desenvolvidos quatro modos de funcionamento para o sistema didático, um modo de demonstração, um modo manual, um modo de controlo por sinais digitais e analógicos e um modo de comunicação rede.

Para o desenvolvimento destes modos de funcionamento foram desenvolvidas quatro aplicações no autómato com recurso ao programa PL7. A linguagem utilizada foi *structured text* (ST), dada a sua acessibilidade para realizar eventuais alterações no código. Para além disso, não se considerou necessária a utilização de uma linguagem mais elaborada como SFC.

Nas seguintes seções, são descritos as aplicações desenvolvidas para os quatro modos de funcionamento existentes no sistema.

### 5.2.1 Modo demonstração

Neste modo de funcionamento foi desenvolvida uma aplicação que permite controlar as estações do sistema com o objetivo de demonstrar o seu funcionamento.

Para cada estação, foi definida uma variável de memória que ativa ou não a execução da demonstração da estação, conforme o seu estado. O valor lógico desta variável pode ser alterado em qualquer parte do processo, implicando assim a interrupção da demonstração.

#### 5.2.1.1 Estação de nível

Na estação de nível, pretende-se demonstrar o processo de controlo de nível de água no tanque superior.

Nesta estação é introduzida, inicialmente, água no tanque inferior até que seja detetado o nível superior do mesmo. Uma vez que o tanque inferior esteja cheio, existem condições para que se dê início ao controlo do nível, que é realizado no tanque superior.

Para o controlo do nível de água é utilizado um controlador proporcional, em que a variável de entrada do controlador é o sinal recebido do sensor de ultrassons instalado no tanque superior, relativo à quantidade de água no tanque. Por sua vez, a variável de saída do controlador é o sinal enviado para a bomba de velocidade regulável responsável pelo envio de água do tanque inferior para o superior. O valor de referência para o nível de água desejado é introduzido pelo utilizador, na interface do sistema.

É apresentado na figura 5.3 um fluxograma funcional do modo de demonstração para a estação de nível.

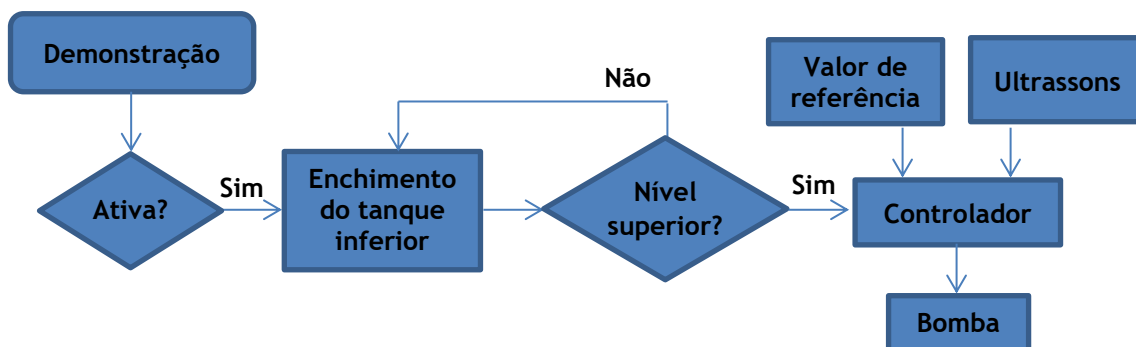


Figura 5.3 - Fluxograma funcional do modo de demonstração da estação de nível

### 5.2.1.2 Estação de temperatura

Na estação de temperatura, o objetivo é demonstrar o processo de controlo de temperatura no tanque da estação.

Nesta estação, é introduzida, inicialmente, água no tanque até que seja atingido o nível de água mínimo para a execução do processo. Quando esse nível é atingido, inicia-se o controlo de temperatura.

Para o controlo de temperatura é utilizado um controlador proporcional, em que a variável de entrada do controlador é o sinal recebido do sensor de temperatura PT100, relativo à temperatura da água. Por sua vez, a variável de saída do controlador é o sinal enviado para a resistência de aquecimento, para regular a quantidade de aquecimento a fornecer. Se a temperatura exceder um determinado valor acima do valor de referência estabelecido, é iniciado o arrefecimento da água, através da unidade de arrefecimento instalada na estação. O valor de referência para a temperatura desejada é introduzido pelo utilizador, na interface do sistema.

É apresentado na figura 5.4 um fluxograma funcional do modo de demonstração para a estação de temperatura.

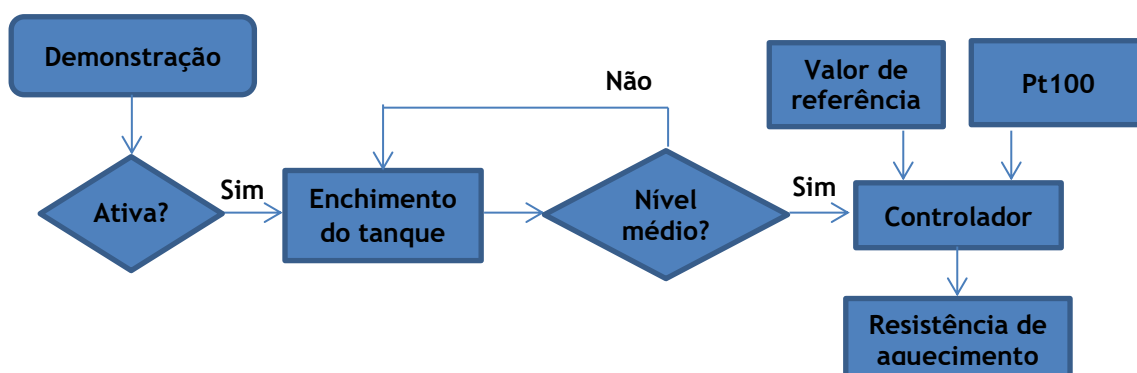


Figura 5.4 - Fluxograma funcional do modo de demonstração da estação de temperatura

### 5.2.1.3 Estação de fluxo

Na estação de fluxo, pretende-se demonstrar o processo de controlo de fluxo de água que atravessa a canalização da estação.

Na estação de controlo de fluxo é introduzida, inicialmente, água no tanque até que seja atingido o nível mínimo de água para a execução do processo. Quando esse nível é atingido inicia-se o controlo de fluxo.

Para o controlo de fluxo é utilizado um controlador proporcional, em que a variável de entrada do controlador é o sinal recebido do caudalímetro, relativo à quantidade de água que está a atravessar a canalização. Por sua vez a variável de saída do controlador é o sinal enviado para válvula proporcional, para regular a abertura da válvula. O valor de referência para o fluxo desejado na canalização é introduzido pelo utilizador na interface do sistema.

É apresentado na figura 5.5 um fluxograma funcional do modo de demonstração para a estação de fluxo.

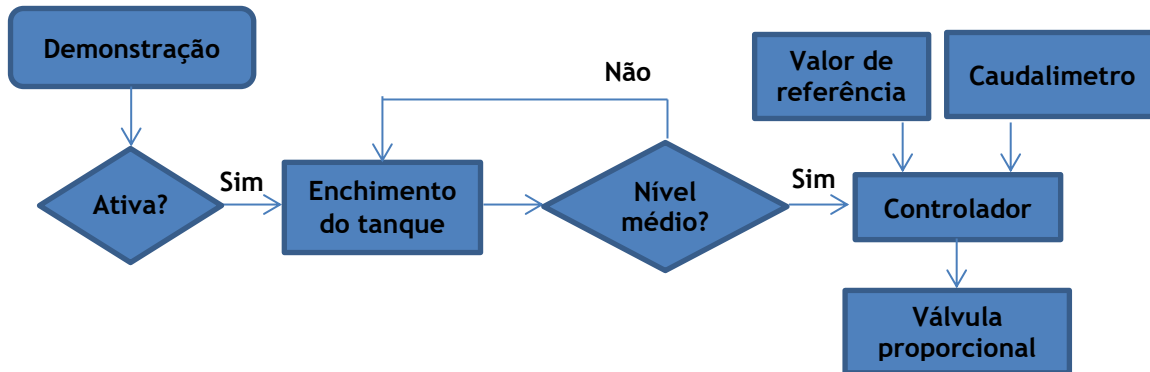


Figura 5.5 - Fluxograma funcional do modo de demonstração da estação de fluxo

### 5.2.2 Modo manual

O modo de funcionamento manual tem como objetivo permitir que o controlo do sistema seja realizado, individualmente para cada atuador, através da interface do sistema.

A interface obtém o estado dos sensores do sistema através do acesso às variáveis de memória do autómato, que contêm a informação relativa aos mesmos.

O envio dos comandos, por parte da interface para o sistema, é realizado através da atribuição das variáveis de memória definidas para este modo às variáveis de memória [3], identificadas na figura 5.1.

É apresentado na figura 5.6 um diagrama das associações entre as variáveis utilizadas.

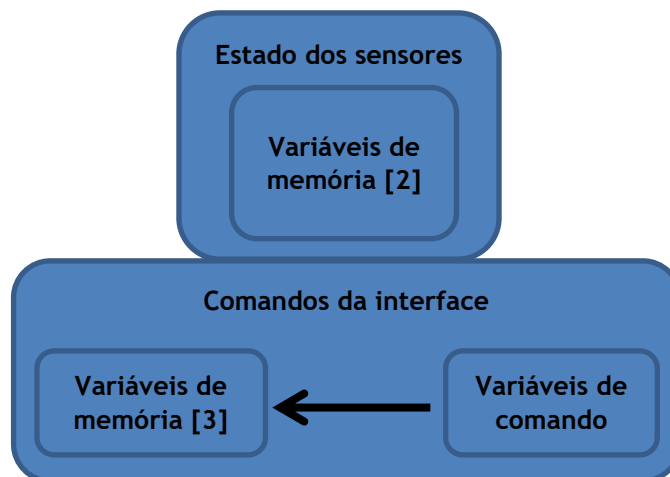


Figura 5.6 - Diagrama de associações entre variáveis no modo manual

### 5.2.3 Modo controlo por sinais digitais e analógicos

Neste modo de funcionamento o objetivo consiste no desenvolvimento de aplicações de controlo remoto para o sistema didático em plataformas externas, que comunicam com o autómato através de ligações individuais para cada sinal.

Neste modo de comunicação, a plataforma externa interage com o autómato através de sinais digitais e analógicos, entre as saídas da plataforma externa e o autómato do sistema e entre os sensores do sistema e as entradas da plataforma externa.

As ligações para os comandos enviados por parte da plataforma externa são ligadas às cartas de entradas do autómato. Para efetuar a leitura do estado dos sensores do sistema é feita uma ligação direta entre os sensores e as entradas da plataforma externa. Como mencionado nos capítulos anteriores, em todas as ligações efetuadas neste modo de funcionamento são utilizados os circuitos de isolamento desenvolvidos.

Na aplicação desenvolvida apenas é necessário atribuir as variáveis de entrada, das cartas de entradas do autómato definidas para este modo de comunicação, às variáveis de memória [3], identificadas na figura 5.1, uma vez que o estado dos sensores é obtido diretamente.

É apresentado na figura 5.7 um diagrama das associações entre as variáveis utilizadas.

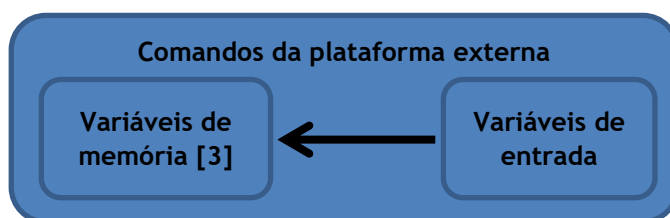


Figura 5.7 - Diagrama de associações entre variáveis no modo de controlo por sinais digitais e analógicos

### 5.2.4 Modo comunicação rede

Neste modo de funcionamento, pretende-se que os estudantes desenvolvam aplicações para controlar o sistema didático desenvolvido em plataformas externas, que comunicam com o autómato através de comunicações de rede, com o protocolo Modbus TCP/IP.

Na aplicação desenvolvida para o modo de comunicação por rede é efetuada uma atribuição entre as variáveis de memória do autómato do sistema, identificadas por [2] na figura 5.1, e as variáveis de memória, definidas para este modo de funcionamento, que são lidas e controladas pela plataforma externa.

São atribuídos os valores das variáveis de memória [2] às variáveis de memória definidas para a leitura do estado dos sensores, por parte da plataforma externa. O valor das variáveis de memória, definidas para este modo, para enviar os comandos por parte da plataforma externa é atribuído às variáveis de memória [3].

O diagrama da figura 5.8 apresenta as associações feitas na aplicação desenvolvida para o modo de comunicação por rede, onde as variáveis de leitura e comando são as variáveis de memória acedidas pela plataforma externa para obter a informação do estado dos sensores e enviar os comandos para o sistema, respetivamente.

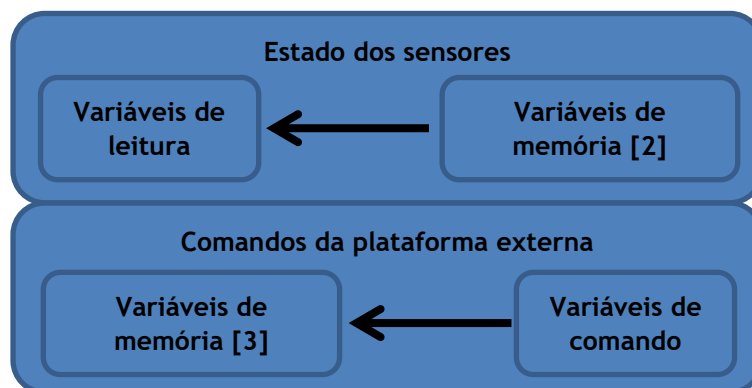


Figura 5.8 - Diagrama de associações entre variáveis no modo comunicação rede

### 5.3 Interlock

Como referido nos capítulos anteriores foi desenvolvido um interlock para proteger o sistema desenvolvido de comandos considerados perigosos, para o sistema ou para o utilizador, enviados para os atuadores por parte do operador.

O funcionamento do interlock baseia-se no cumprimento ou não de condições definidas, referentes ao estado do sistema e aos comandos enviados para o mesmo.

Como as saídas do autómato só são atualizadas no final do ciclo do processador e como a aplicação interlock é executada depois dos modos de funcionamento é garantido que não é possível atuar uma saída do autómato sem que seja realizada uma verificação da mesma por parte do interlock.

Para verificar quais os comandos de acionamento dos atuadores do sistema que possam resultar nos problemas referidos, tendo em conta o estado em que o mesmo se encontra, o sistema foi analisado e foram ponderadas quais as hipóteses de atuação em todo o equipamento instalado no sistema para definir as regras do interlock.

Na tabela seguinte são apresentadas as situações danosas e qual a regra que as evita.

Tabela 5-1 - Regras do Interlock

Situação	Regra
Ligar a bomba de enchimento sem nenhuma válvula de entrada aberta;	Se nenhuma das válvulas de entrada das estações estiver aberta, a bomba de enchimento é desligada;
Utilizar o modo manual depois de já ter sido utilizado, sem reinício do PLC, e estarem atuadores ativos;	Se o modo de funcionamento manual não estiver em execução, todas as variáveis de memória associadas ao mesmo são reiniciadas;
Utilizar o modo de comunicação de rede depois de já ter sido utilizado, sem reinício do PLC, e estarem atuadores ativos;	Se o modo de funcionamento de comunicação de rede não estiver em execução, todas as variáveis de memória associadas ao mesmo são reiniciadas;
Caso em algum dos modos de funcionamento se deixe um atuador ativo e/ou água nos tanques das estações;	Se nenhum dos modos de funcionamento estiver ativo, todos os atuadores são desligados, exceto as três válvulas de saída das estações e a válvula intermédia da estação de nível que são ativadas;

Estação de nível	
Ligar a bomba regulável sem água no tanque inferior;	Se sensor de nível mínimo do tanque inferior não estiver ativo, a bomba regulável não funciona;
Atingir o nível máximo do tanque inferior e tentar inserir mais água no mesmo;	Se o sensor de nível máximo do tanque inferior estiver ativo, a válvula de entrada da estação e a válvula entre tanques são fechadas;
Atingir o nível máximo do tanque superior e tentar inserir mais água no mesmo;	Se o sensor de nível máximo do tanque superior estiver ativo, a bomba regulável é desligada;
O tanque inferior estar quase cheio, existir alguma água no tanque superior e tentar inserir água no tanque inferior;	Se o sensor de nível superior do tanque inferior estiver ativo e o valor lido pelo sensor de ultrassons for superior a 4 Volt, a válvula de entrada da estação é fechada;
Estação de temperatura	
Atingir o nível máximo do tanque e tentar inserir água no mesmo;	Se o sensor de nível máximo estiver ativo, a válvula de entrada da estação é fechada;
Tentar ligar a resistência de aquecimento, o misturador ou abrir a válvula do radiador sem ter uma quantidade de água suficiente;	Se o sensor de nível médio não estiver ativo, não é possível ligar a resistência de aquecimento, o misturador ou abrir a válvula do radiador;
Tentar ligar a resistência de aquecimento quando a água já está numa temperatura demasiado elevada;	Se a temperatura lida pela sensor de temperatura PT100 ultrapassar um determinado valor, a resistência de aquecimento é desligada;
Tentar ligar a bomba de água do radiador com a válvula do radiador fechada;	Se a válvula do radiador não estiver aberta, não é possível ativar a bomba de água do radiador;
Estação de fluxo	
Atingir o nível máximo do tanque e tentar inserir água no mesmo;	Se o sensor de nível máximo estiver ativo, a válvula de entrada da estação é fechada;
Tentar ativar a válvula proporcional sem ter uma quantidade de água suficiente;	Se o sensor de nível médio não estiver ativo, não é possível abrir a válvula proporcional;
Tentar ativar a bomba de água sem a válvula proporcional estar aberta.	Se a válvula proporcional não estiver aberta, não é possível ativar a bomba de água.

Para a programação do interlock cada um dos sensores e atuadores referidos nas regras definidas foram identificados nas variáveis de entrada e de saída do autómato e foram desenvolvidas condições lógicas, em texto estruturado, associadas a cada uma das regras.

Para cada uma destas regras foram atribuídas variáveis de memória que funcionam como *flags* quando as mesmas são executadas, permitindo apresentar alarmes na interface do sistema.

Todas estas regras desenvolvidas para o interlock foram testadas com sucesso tendo sido comprovada a proteção do sistema.

## Capítulo 6

# Interface com o utilizador

Neste capítulo é apresentado a interface gráfica incluída no sistema didático e os sinóticos desenvolvidos para o utilizador interagir com o sistema.

### 6.1 Interface gráfica

O sistema didático desenvolvido tem como requisito funcional a integração de uma interface entre o utilizador e o sistema. O objetivo da interface é a monitorização do estado dos sensores e atuadores do sistema e permitir a interação entre o utilizador e o sistema didático.

Depois de analisados os requisitos para a interface, optou-se pela utilização de uma consola. Como o sistema tem vários sensores e atuadores, digitais e analógicos, a utilização de uma interface gráfica melhora a apresentação do estado do sistema para o utilizador. Isto permite apresentar os valores dos sensores e atuadores de forma mais perceptível, e permite a apresentação de gráficos temporais relativos a esses valores, para uma análise do comportamento do sistema mediante controlos e comandos diferentes.

Existia uma consola industrial disponível no laboratório de automação com um ecrã tátil de dez polegadas a cores, que permite eficazmente apresentar o estado do sistema e uma interação tátil para comandar o sistema.

Uma interação tátil permite de forma fácil e eficaz selecionar o modo de funcionamento desejado, comandar o início do modo demonstração e introduzir valores associados ao controlador neste modo. Uma vez que no modo manual todo o controlo dos atuadores do sistema é feito através da interface, é essencial que a interface tenha características como as da consola industrial utilizada.

A utilização de uma consola industrial é vantajosa pelo facto de o sistema desenvolvido ser didático, logo requer uma interação fácil e intuitiva e uma visualização clara das informações relativas ao estado do sistema.

A comunicação com a consola pode ser feita através de rede, com o protocolo Modbus TCP/IP, o que é vantajoso uma vez que o autómato do sistema tem um módulo de comunicações já instalado, e preparado para uma comunicação deste tipo, o que permite facilmente uma comunicação entre ambos.

Para a configuração e desenvolvimento dos sinóticos da consola foi utilizado o programa Vijeo Designer. Para realizar esta configuração foi utilizada a comunicação de rede que a consola dispõe, da mesma maneira que a consola comunica com o autómato.

Foi definido o endereço IP do autómato na configuração da consola para que esta tenha definido o alvo, o autómato, onde ler e escrever as variáveis de memória.

Para realizar a comunicação entre o autómato e a consola é possível que os dois equipamentos estejam ligados à mesma rede ou em redes distintas, desde que seja permitido comunicar entre elas. Desta forma é permitido o acesso por parte da consola às variáveis de memória do autómato. Este acesso permite obter informação relativa ao estado dos sensores, e a alteração das mesmas por parte da consola, para enviar os comandos de controlo inseridos.

Foi utilizada uma consola tátil da Schneider Electric, XBTGT 5330, apresentada na figura 6.1.

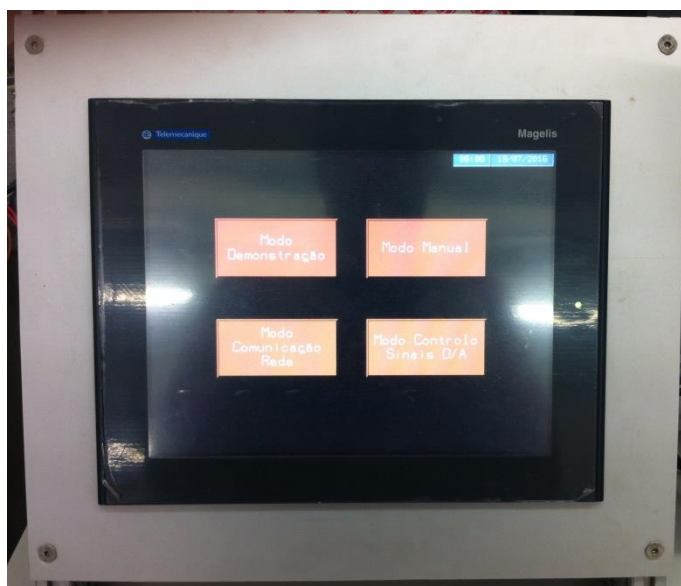


Figura 6.1 - Consola Schneider utilizada para interface

A consola utilizada apresenta características vantajosas para a inclusão no sistema como:

- Ter um monitor tátil a cores;
- Ter uma memória *flash* interna, que permite apresentar históricos e gráficos de dados;
- Ter uma interface de comunicação Ethernet;
- Utilizar o protocolo de comunicação Modbus TCP/IP;
- A alimentação da mesma ser de 24 Volt.

Foram desenvolvidos sinóticos para interação entre o utilizador e o sistema para cada um dos modos de funcionamento, apresentados nas secções seguintes.

## 6.2 Sinóticos

No estado de espera do sistema, referido no capítulo 5, ou seja quando nenhum dos modos de funcionamento está em execução, o sinótico apresentado é o sinótico inicial, apresentado na figura 6.2.

Neste sinótico estão disponíveis quatro botões para a seleção dos modos de funcionamento do sistema:

- Modo Demonstração;
- Modo Manual;
- Modo Comunicação de Rede;
- Modo Controlo por sinais digitais e analógicos.

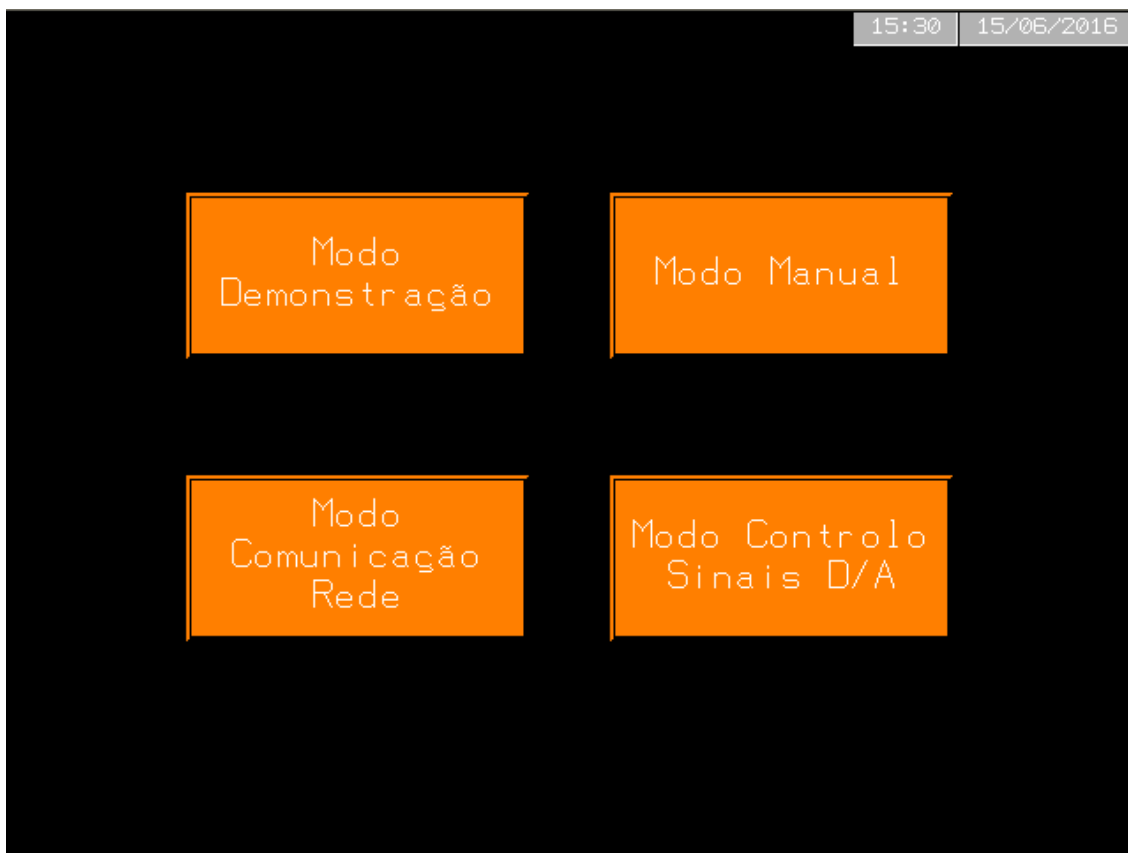


Figura 6.2 - Sinótico inicial

Quando os botões, correspondentes aos modos de funcionamento, são pressionados é alterado, para verdadeiro, o valor da variável de memória do autómato associada a cada um dos modos de funcionamento, dando ordem para a execução do mesmo, é apresentado o sinótico associado ao modo selecionado.

### 6.2.1 Demonstração

Quando o modo de demonstração é selecionado é apresentado o sinótico do modo de demonstração, apresentado na figura 6.3.

Neste sinótico estão disponíveis três botões relativos às três estações do sistema.

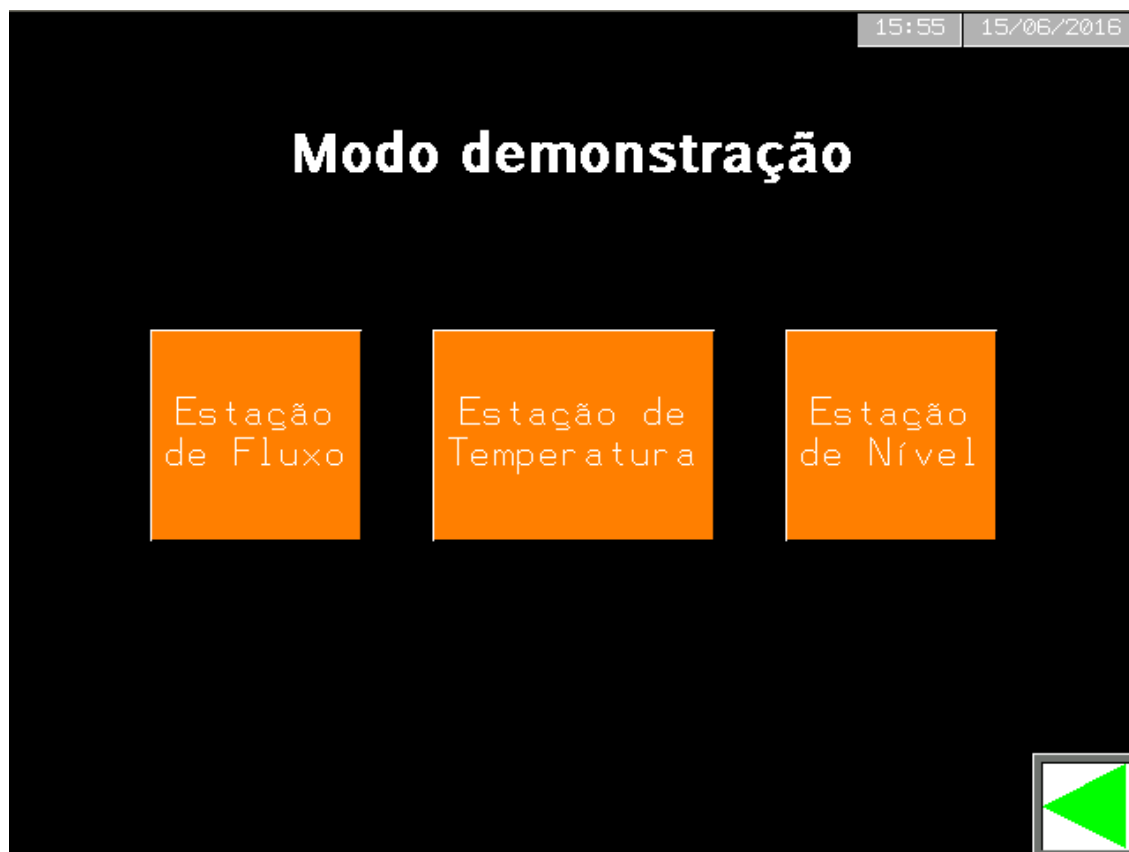


Figura 6.3 - Sinótico do modo de demonstração

Quando os botões são pressionados é apresentado o sinótico do modo de demonstração referente à estação selecionada. Não é realizada nenhuma ação em variáveis de memória para que possa ser possível retroceder nos sinóticos de demonstração de cada estação sem que a mesma seja interrompida, permitindo a demonstração de mais de uma estação em simultâneo.

Existe ainda um botão configurado para retroceder ao sinótico anterior, que quando pressionado reinicia a variável de memória definida para ativar o modo de demonstração, interrompendo assim todas as demonstrações em execução.

Neste modo de funcionamento quando os botões são pressionados é alterado o valor lógico das variáveis de memória do autômato utilizadas pelo mesmo. O valor numérico introduzido nos campos de “Set Point”, os valores de referência dos controladores, é atribuído a variáveis de memória do autômato que depois são lidas pelo controlador de cada estação.

A apresentação do estado dos sensores digitais é feita através de indicadores luminosos, que alteram o seu estado conforme as variáveis de memória auxiliares do autômato definidas para os mesmos.

### 6.2.1.1 Estação de nível, temperatura e fluxo

No sinótico de demonstração da estação de nível, exposto na figura 6.4, é apresentada a informação sobre o estado da estação de nível.

Existe um botão que comanda o início do modo de demonstração para esta estação de nível, a verde na figura 6.4 uma vez que está ativo, existe um botão que dá ordem para esvaziar a estação de nível e ainda um botão para retroceder ao sinótico anterior.

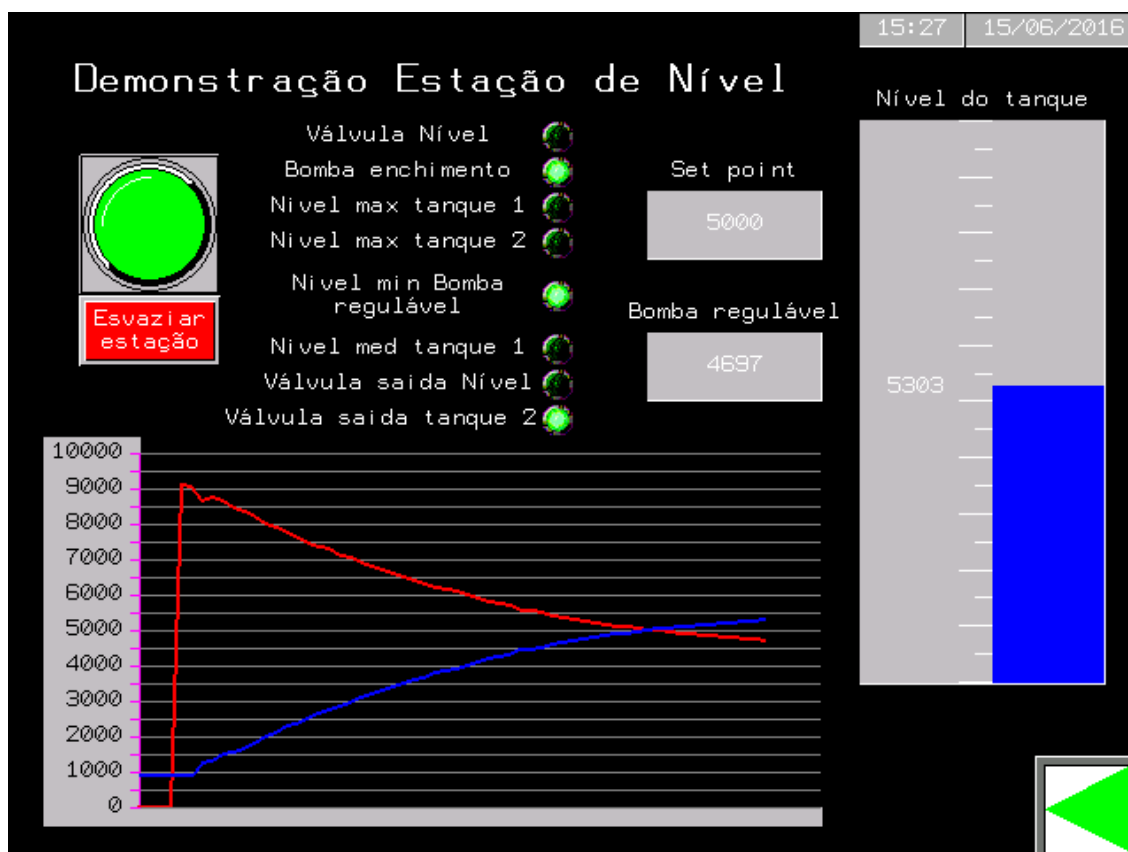


Figura 6.4 - Sinótico de demonstração da estação de nível

Neste sinótico é apresentado: o valor que está a ser lido pelo sensor ultrassons através de uma animação; o valor aplicado na bomba regulável; o estado de todos os sensores digitais da estação; um gráfico que apresenta a evolução ao longo do tempo dos valores do sensor de ultrassons, a azul, e da bomba regulável, a vermelho. Este gráfico permite realizar uma análise temporal dos valores de entrada e saída do controlador da estação.

No sinótico da estação de temperatura, exposto na figura 6.5, são apresentados: todos os sensores digitais da estação de temperatura; o valor lido pelo sensor de temperatura PT100; o valor aplicado na resistência de aquecimento. O gráfico apresenta a evolução temporal da PT100, a azul, e da resistência de aquecimento, a vermelho.

No sinótico da estação de fluxo, exposto na figura 6.6, são apresentados: todos os sensores digitais da estação de fluxo; o valor lido pelo caudalímetro; o valor aplicado na válvula proporcional. O gráfico apresenta a evolução temporal do caudalímetro, a azul, e da válvula proporcional, a vermelho.

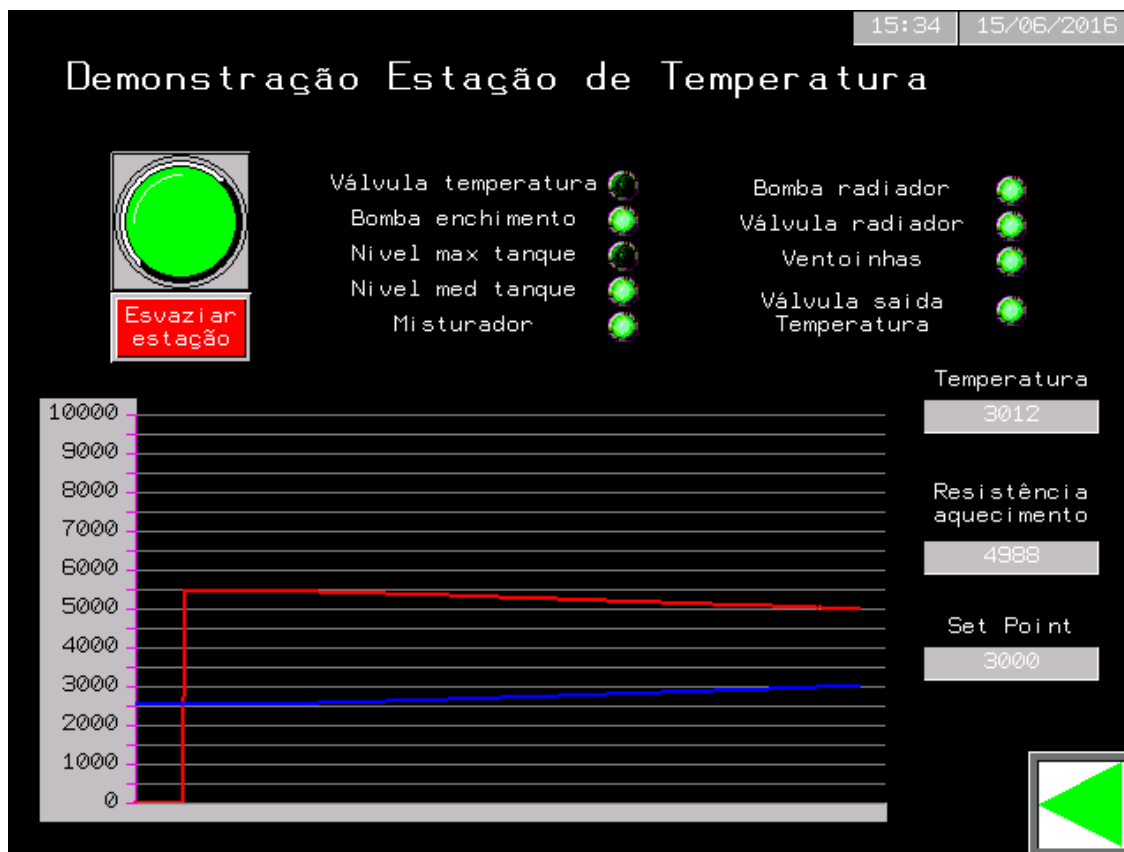


Figura 6.6 - Sinótico de demonstração da estação de temperatura

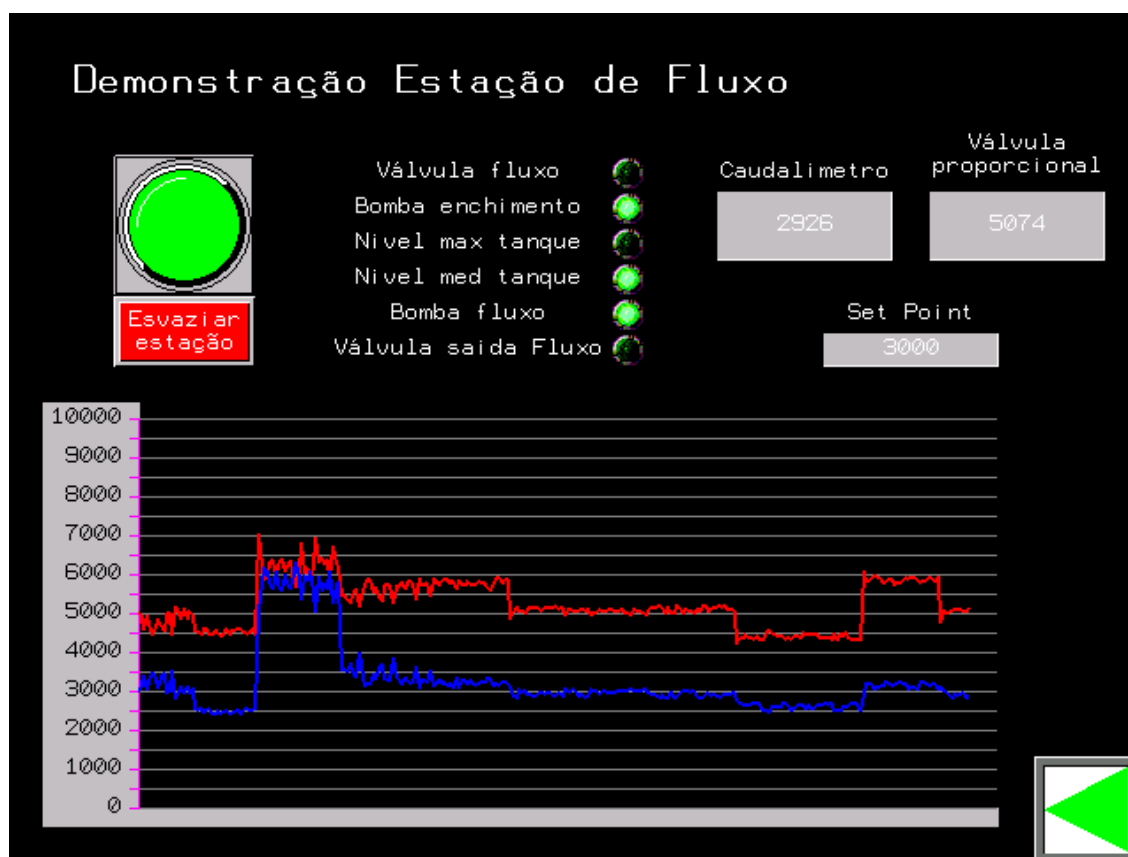


Figura 6.5 - Sinótico de demonstração da estação de fluxo

## 6.2.2 Manual

Quando o modo manual é selecionado é apresentado o sinótico do modo manual, apresentado na figura 6.7.

Neste sinótico estão disponíveis três botões relativos às três estações do sistema e existe ainda um botão configurado para retroceder ao sinótico anterior.

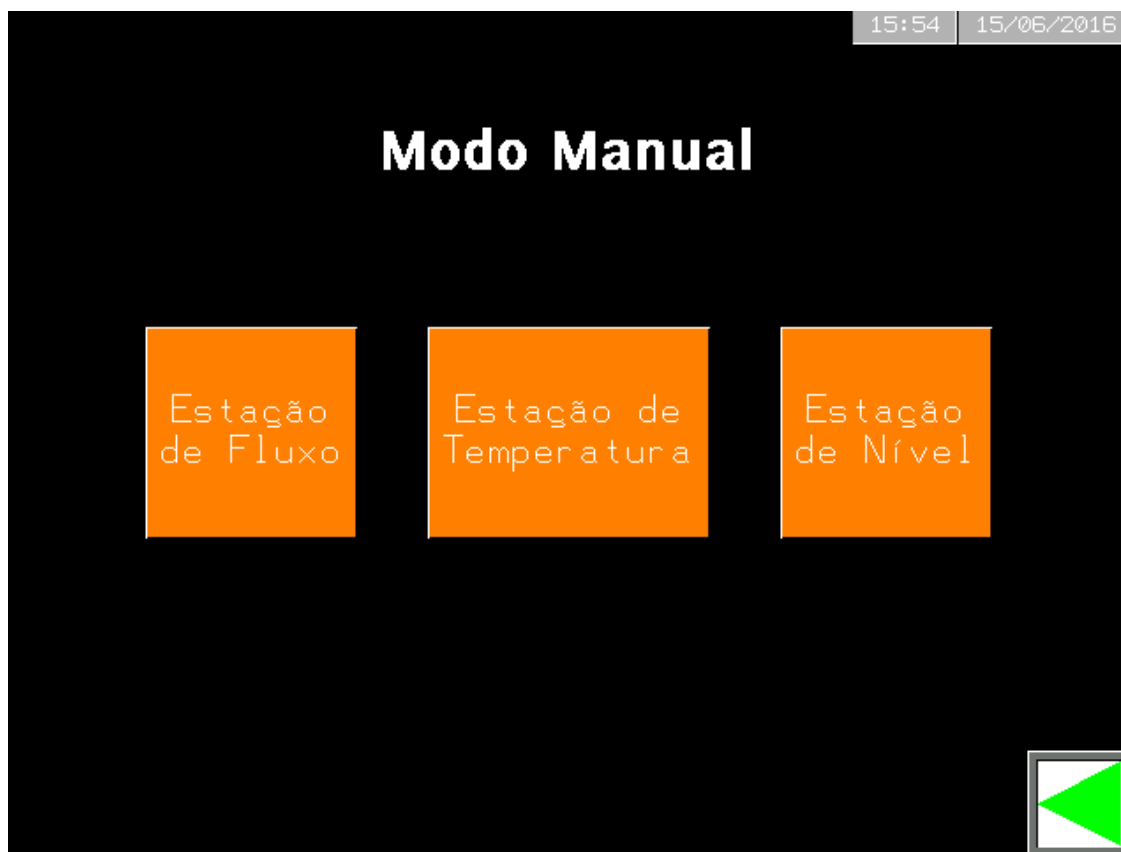


Figura 6.7 - Sinótico modo manual

Quando os botões são pressionados é apresentado o sinótico do modo manual referente à estação selecionada. Não é realizada nenhuma ação em variáveis de memória para que possa ser possível retroceder nos sinóticos de cada estação neste modo de forma a permitir o controlo manual em simultâneo de mais do que uma estação.

Neste modo de funcionamento existem variáveis de memória do autómato definidas para o mesmo, atribuídas através dos comandos introduzidos na consola. A introdução de comandos é efetuada quando os botões respetivamente identificados são pressionados, para os atuadores digitais, ou é introduzido um valor numérico, para os atuadores analógicos.

Para obter informação sobre o estado dos sensores, digitais e analógicos, são lidas pela consola as variáveis de memória do autómato. A leitura dos atuadores é feita através das variáveis de memória atribuídas pela aplicação de leitura para que seja apresentado o estado real do sistema e não o comando enviado.

A apresentação do estado dos sensores digitais é feita através de indicadores luminosos e dos atuadores digitais é feita através de botões correspondentes uma vez que são botões com animação luminosa.

### 6.2.2.1 Estação de nível, temperatura e fluxo

No sinótico de controlo manual da estação de nível, exposto na figura 6.8, é apresentado um esquema da estrutura da estação, de forma a ser intuitiva a interação com o mesmo.

Neste sinótico é possível controlar todos os atuadores digitais e analógicos e saber o estado dos sensores digitais e analógicos da estação de nível.

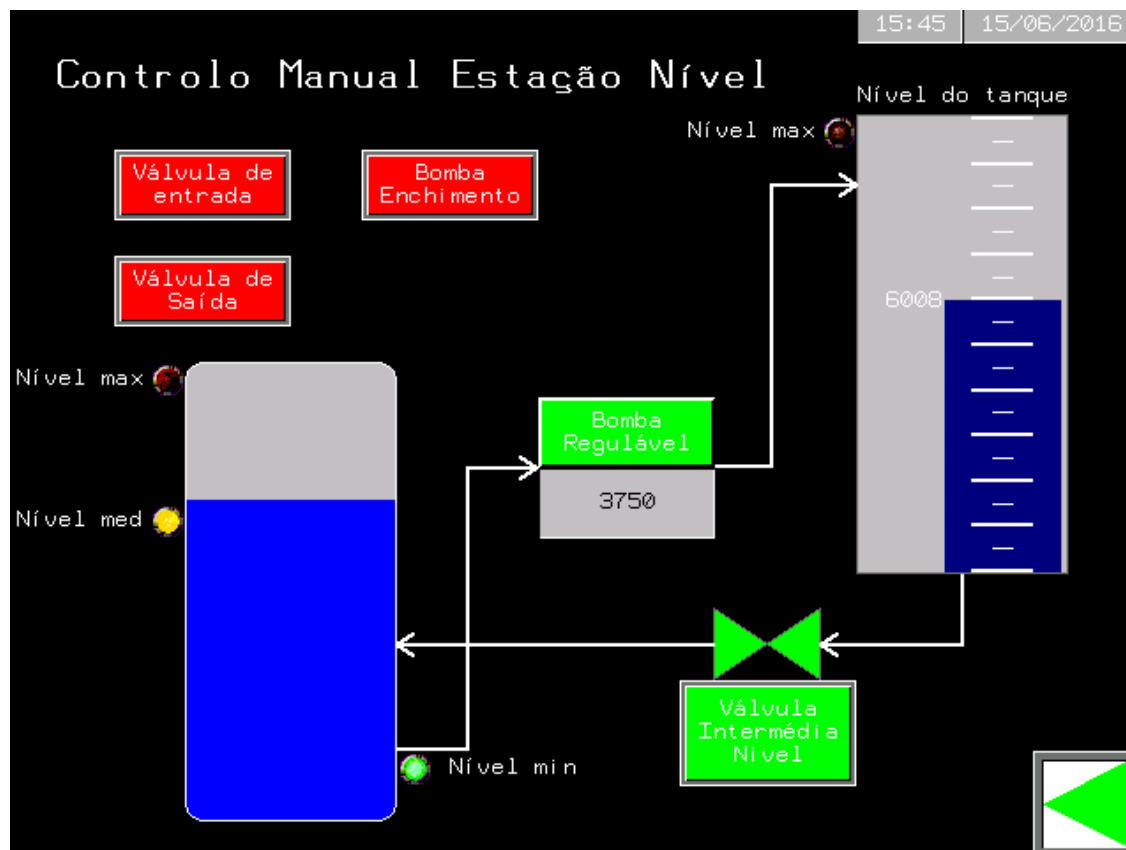


Figura 6.8 - Sinótico de controlo manual da estação de nível

O estado dos sensores de nível, instalados na estação, é indicado por recurso a indicadores luminosos colocados aproximadamente onde estão instalados na estação. O valor lido pelo sensor ultrassons é apresentado por recurso a uma animação.

O valor desejado para a atuação da bomba regulável é de ser introduzido no campo com a respetiva identificação.

No sinótico da estação de temperatura, exposto na figura 6.9, é apresentado: um esquema da estrutura da estação; os sensores digitais da estação de temperatura; e o valor lido pelo sensor de temperatura PT100 através de uma animação. O valor desejado para a atuação da resistência de aquecimento tem de ser introduzido no campo com a respetiva identificação.

No sinótico da estação de fluxo, exposto na figura 6.10, é apresentado: um esquema da estrutura da estação; todos os sensores digitais da estação de fluxo; o valor lido pelo caudalímetro. O valor aplicado na válvula proporcional é definido através da introdução do valor no campo identificado para o efeito.

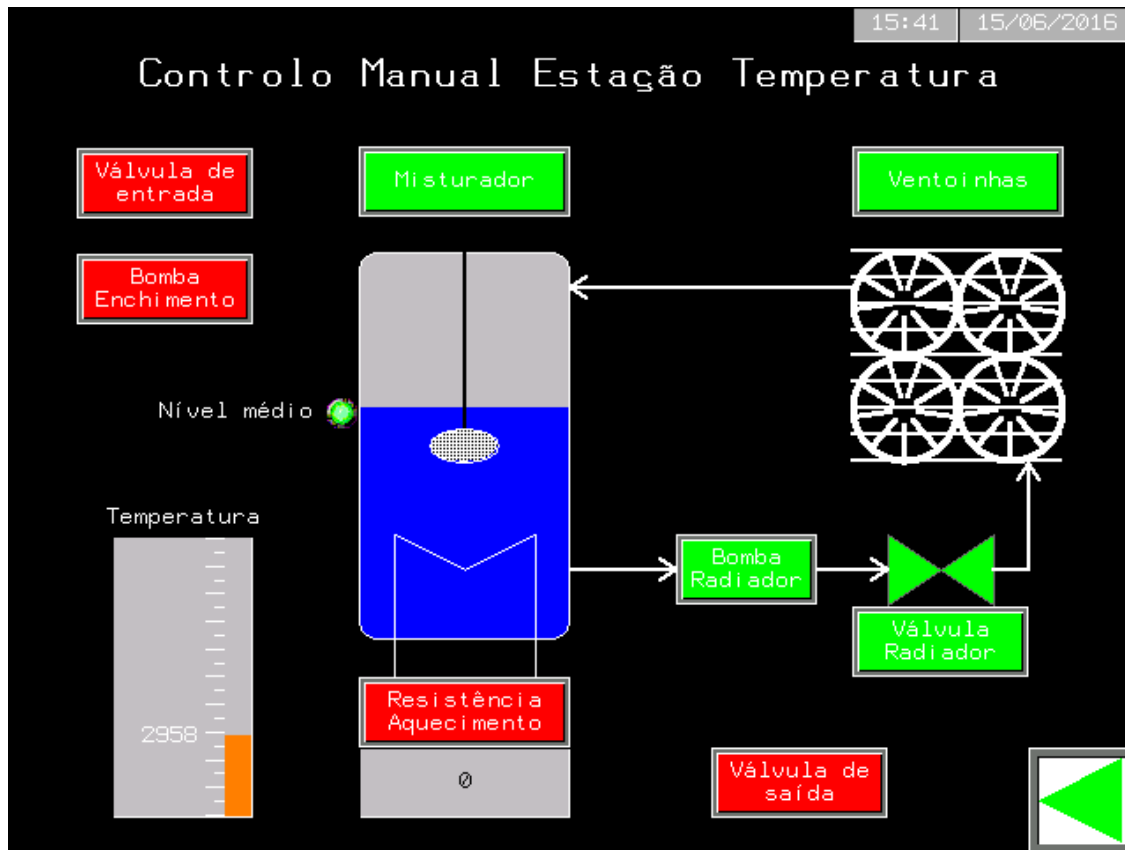


Figura 6.10 - Sinótico de controlo manual da estação de temperatura

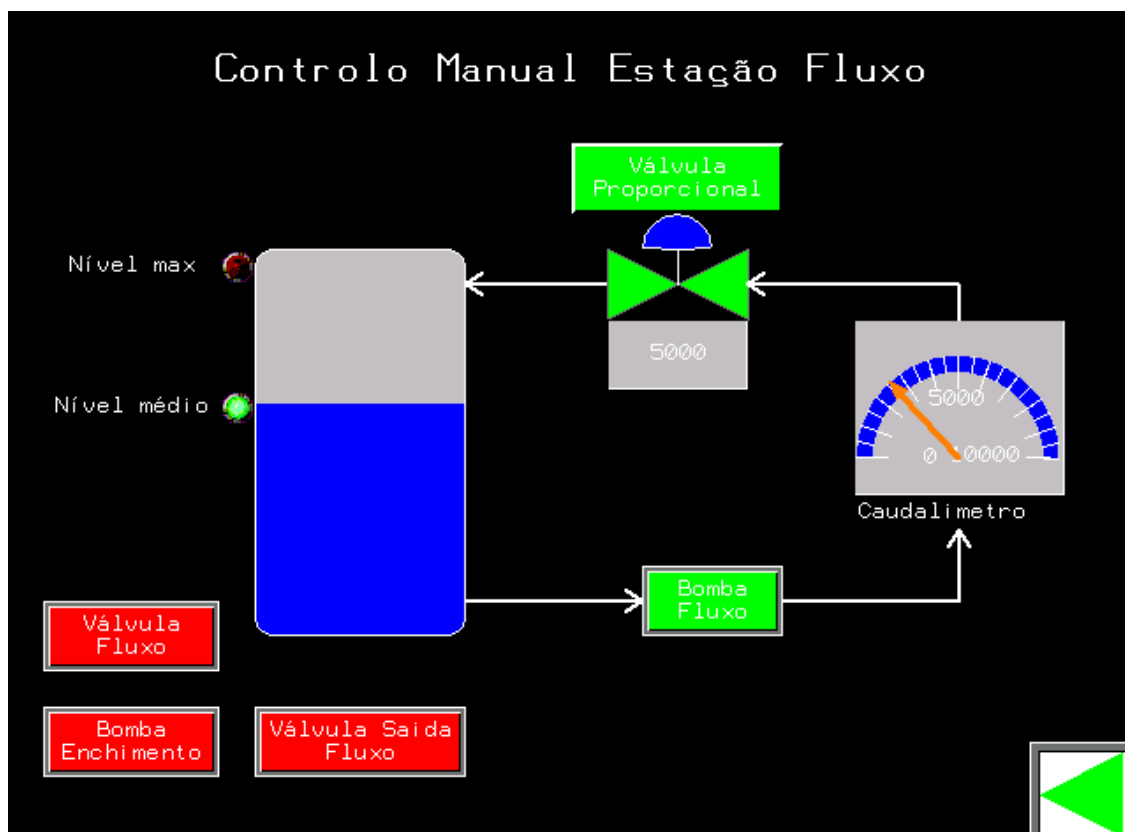


Figura 6.9 - Sinótico de controlo manual da estação de nível

### 6.2.3 Comunicação rede e Sinais D/A

Depois de selecionado o modo de comunicação de rede na consola é apresentado o sinótico relativo a este modo, exposto na figura 6.11.

Neste modo de funcionamento a consola tem apenas a função de monitorizar o sistema, pois todo o controlo do mesmo é feito remotamente a partir de plataformas externas ao sistema didático.



Figura 6.11 - Sinótico do modo de comunicações Rede

Uma vez que depois de selecionado este modo não existe controlo do sistema através da consola, não foram separadas as estações em sinóticos diferentes, permitindo uma análise geral do sistema. Assim, é possível executar o programa de controlo desenvolvido na plataforma externa e analisar na consola o estado de todo o sistema.

Neste modo de funcionamento são apresentados os sensores e atuadores, digitais e analógicos, instalados nas três estações do sistema didático. Por questões de gestão de espaço os sensores e atuadores analógicos são apresentados apenas em valor numérico no sinótico deste modo de funcionamento. A recolha do estado dos sensores e atuadores é feita através das variáveis de memória atribuídas pela aplicação de leitura.

O sinótico do modo de controlo por sinais digitais e analógicos é em tudo idêntico a este, à exceção do título, permitindo identificar qual o modo em execução.

A leitura do estado dos sensores e atuadores para o sinótico de controlo por sinais digitais e analógicos é também realizada através das variáveis de memória utilizadas para o sinótico de comunicação de rede do autómato garantindo que é apresentado o estado real do sistema.

# Capítulo 7

## Conclusão

Os estudantes de engenharia da área de automação estudam, compreendem e controlam sistemas de automação diversos. Um aspeto que melhora a sua formação é a experimentação de sistemas mais complexos e que abrangem diferentes conteúdos e matérias.

O principal objetivo desta dissertação foi, através do desenvolvimento de um sistema didático, permitir aos estudantes da área de automação o contacto com sistemas de processos contínuos. A partir da interação com este sistema didático os estudantes têm a oportunidade de compreender melhor o funcionamento de processos contínuos e como é realizado o controlo dos mesmos.

Este sistema didático permite aos estudantes: o contacto com equipamento relacionado com processos contínuos, e outras áreas de automação; a perceção de como funciona o tratamento de diferentes tipos de sinais de controlo; desenvolver capacidades relativamente a sistemas de controlo e quais as diferentes formas de controlar um sistema; as implicações que têm os diferentes parâmetros nos controladores implementados.

Foram desenvolvidas três estações de processos contínuos distintos, controlo de nível, controlo de temperatura e controlo de fluxo. Em todas estas estações foi necessário realizar a montagem do equipamento, realizar as ligações necessárias ao autómato do sistema e realizar a programação do mesmo.

Através das aplicações de controlo desenvolvidas é possível: controlar o sistema manualmente, para uma perceção em tempo real dos componentes das estações e qual a reação das mesmas a ordens diferentes; controlar o sistema remotamente através de sinais digitais e analógicos e comunicações de rede, com o objetivo que sejam desenvolvidos controladores para o sistema.

Foram desenvolvidas aplicações de demonstração para cada uma das estações, que permitem ter uma perceção do processo contínuo e do controlo associado a cada um dos mesmos.

Na vertente de segurança, do utilizador e do sistema, foi desenvolvido um Interlock, para segurança do equipamento e do operador, e um circuito de isolamento de sinais, quando são utilizados sinais digitais e analógicos para a comunicação entre o sistema didático desenvolvido e plataformas externas.

Foi ainda configurada uma consola gráfica tátil e desenvolvidos sinóticos que garantem uma interação fácil e eficaz entre o operador e o sistema didático.

Algumas dificuldades encontradas foram: o desenvolvimento dos sistemas de isolamento analógico, visto ser o primeiro contacto com opto acopladores em modo de funcionamento analógico; conceber as estações do sistema da melhor forma, permitindo o desenvolvimento de controladores dinâmicos por parte dos estudantes; realizar a montagem de todos os componentes do sistema.

Foram efetuados testes a todos os programas desenvolvidos e à montagem realizada para cada uma das estações, comprovando o seu correto funcionamento.

Pode-se concluir que todos os objetivos propostos foram cumpridos e que com esta dissertação foi possível desenvolver um sistema didático que permite acrescentar valor ao ensino de automação.

Para trabalho futuro a realizar neste sistema didático é possível evidenciar alguns pontos:

- Melhorar a apresentação da bancada, relativamente a ligações entre os componentes e o autómato;
- Realizar os testes e ensaios para calibração dos sensores e atuadores analógicos;
- Desenvolver um livro de trabalhos a realizar, para servir de guia explicativo de funcionamento do sistema;
- Melhorar os controladores no modo de demonstração para as estações do sistema;
- Desenvolver placas PCB para os circuitos eletrónicos do sistema;
- Integrar um permutador de calor na estação de fluxo, por forma a elevar a complexidade da mesma.

## Referências bibliograficas

- [1] Lucas Nülle GmbH, «IPA Industrial Process Automation Process Automation Sub-Systems with UniTrain-I», pp. 1-86.
- [2] Edibon, «Computer Controlled Process Control Plant with Industrial Instrumentation and Service Module ( Flow , Temperature , Level and Pressure ), with SCADA and PID Control». pp. 1-18, 2013.
- [3] A. J. Helmich e H. Kaufmann, «MPS® PA Workbook». 2006.
- [4] Festo, «MPS® PA Data sheets», n. 060. pp. 2-3, 2011.
- [5] Festo Didatic, «Process Control System», n. 2, pp. 874-879, 2009.
- [6] F. D. G. & C. KG, «Part R Process Automation».
- [7] H. Bischoff, D. Hofmann, e E. v. Terz, «Process Control System Control of temperature , flow and filling level», *Control*, 1997.
- [8] «Premium PLCs», vol. 4.
- [9] «Analog input modules», vol. 3, pp. 3-6.
- [10] «Analog output module Introduction», vol. 4, pp. 3-4.
- [11] Tyco Electronics, «PCH series 5 - 10 Amp Miniature 1 Form A or C Power PC Board Relay», pp. 1-2.
- [12] SMC, «Zero Differential Pressure Type Pilot Operated 2 Port Solenoid Valve IP65», vol. 37, 2013.
- [13] Bernstein, «Complete Range Sensor Systems». 2016.
- [14] Celduc, «celduc». pp. 3-4, 2006.
- [15] Siemens, «Sonar Proximity Switches», pp. 49-50, 2008.
- [16] Schneider Electric, «Zelio Analog Interface Modules», 2013.
- [17] UCC, «Flowmotors, monitors transducers and transmitters». .
- [18] St, «L78xx SERIES Positive Voltage Regulators», n. November, pp. 1-34, 2004.
- [19] Brodersen, «Signal Converters & Isolators Frequency To Analogue Converter PXF-20».
- [20] Avago Technologies, «Multi-Channel Full-Pitch Phototransistor Optocoupler», *Spring*, n. 1994. pp. 1-2, 2010.
- [21] «Description of PL7 software Reference manual».
- [22] Schneider, «XBTGT5330». pp. 1-5, 2015.
- [23] J. Alfred, «Simple Circuits, optical isolation os analog signaisl», 2012.
- [24] <https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/electronics-lab-22>.  
Acesso em 21/Março/2016
- [25] [http://www.pcsilencioso.com/cpemma/pwm\\_erg.html](http://www.pcsilencioso.com/cpemma/pwm_erg.html). Acesso em 14/Abril/2016

# Anexos



Imagem 7-1 - Sistema Didático de Processos Contínuos



Imagem 7-2 - Estação de Nível



Imagem 7-3 - Estação de Temperatura

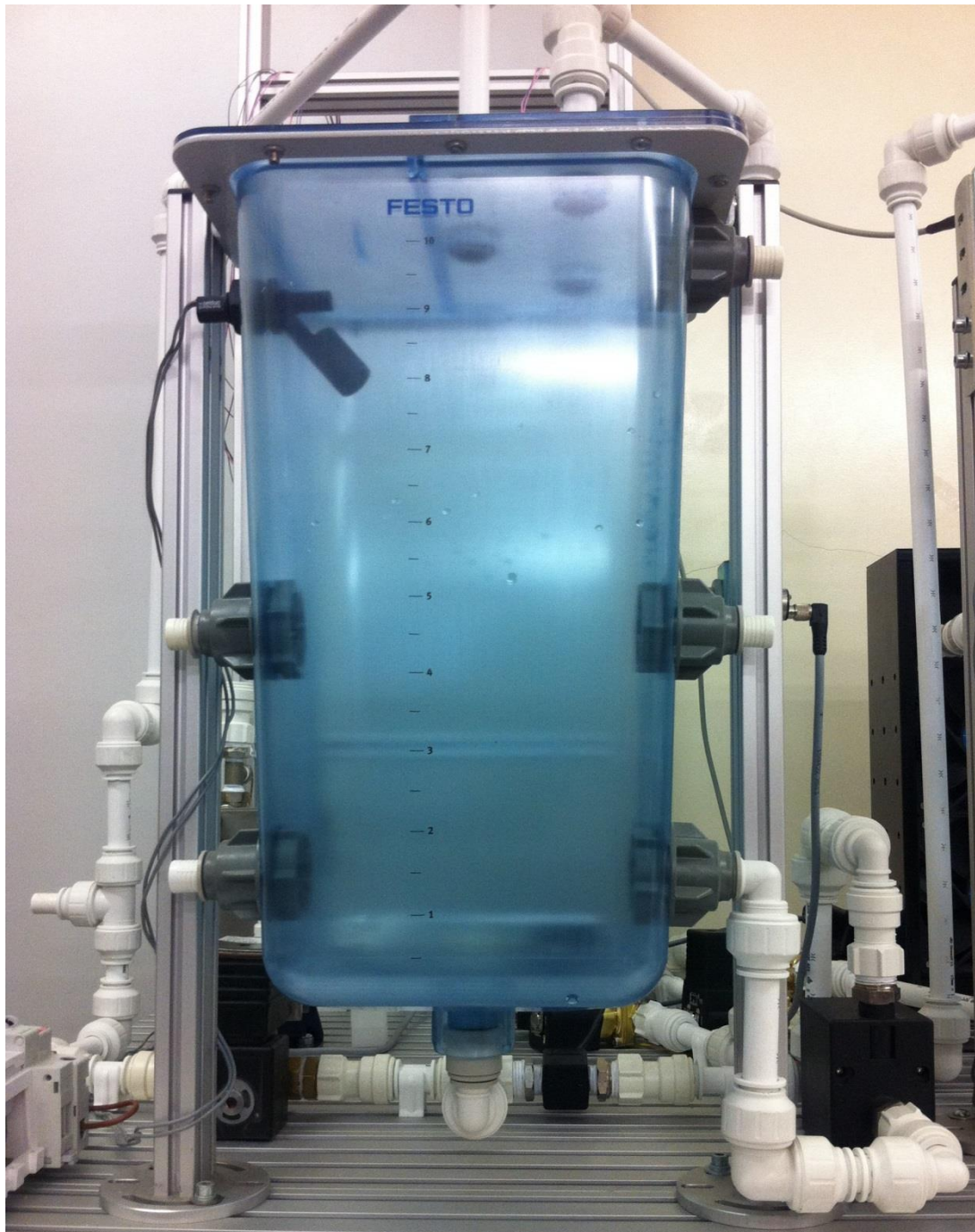


Imagem 7-4 - Estação de Fluxo