



# DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES DE BOMBAS HIDRÁULICAS CENTRIFUGAS

**ANTÓNIO FERNANDO CERQUEIRA CAETANO**

novembro de 2018

# **DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES DE BOMBAS HIDRÁULICAS CENTRIFUGAS**

**António Fernando Cerqueira Caetano**

Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica –  
Sistemas Eléctricos de Energia



Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

**2018**

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE  
- Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: António Fernando Cerqueira Caetano, N° 1160423, [1160423@isep.ipp.pt](mailto:1160423@isep.ipp.pt)

Orientação Científica: Doutora, Maria Judite Ferreira, [mju@isep.ipp.pt](mailto:mju@isep.ipp.pt)

Coorientador: Doutor, José Teixeira Puga, [jtp@isep.ipp.pt](mailto:jtp@isep.ipp.pt)

## **Agradecimentos**

A realização deste trabalho contou com importantes apoios e incentivos sem os quais não se teria tornado uma realidade e aos quais estarei sempre grato.

A todos os docentes do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica- Sistemas Elétricos de Energia, pelos ensinamentos e convívio, em especial a Dr.<sup>a</sup> Maria Judite Ferreira e ao Dr. José Teixeira Puga, pela sua orientação, apoio, disponibilidade, pelo saber que transmitiram, em especial pelas críticas e opiniões sempre construtivas, pela total colaboração no solucionar de problemas e dúvidas que apareceram no decorrer de todo o desenvolvimento deste projeto.

Ao meu grande amigo, Engenheiro Carlos Daniel Inácio, por toda a paciência, companheirismo, amizade e apoio dado em todo este percurso.

A Sidilab Espanha, e ao seu representante Rafael López por toda a ajuda em termos de dossiers disponibilizados para a concretização deste projeto.

A Edibon Espanha, em particular a Eng.<sup>a</sup>. Sara bravo e a presidente, Eng.<sup>a</sup>. Elías Bonilla pela visita permitida as suas instalações em Madrid, por toda a ajuda prestada, sempre disponíveis para esclarecimentos.

Aos meus familiares, em especial a minha esposa Paula Caetano, aos meus filhos, João e Pedro Caetano, ao meu irmão José Caetano, pelo apoio e paciência sempre demonstrada ao longo deste percurso académico.

## **Resumo**

Devido ao lugar predominante que as bombas hidráulicas centrífugas ocupam nas diversas áreas, aplicações industriais, para transporte de fluídos, onde cada vez mais as mesmas estão inseridas, nomeadamente na indústria do gás e óleo alimentar, papel, agricultura, trabalhos de irrigação, climatização, etc. Surge a necessidade de cada vez mais minimizar tempos de paragem e com isso reduzir custos dos equipamentos, como também de obter o melhor desempenho possível.

A intervenção prévia e atempada destas bombas pode evitar avarias graves aumentando a fiabilidade dos sistemas, bem como a eficiência económica dos mesmos. Para isso, é necessário a realização de inspeções e teste regulares, que devem ser rápidos, automáticos e intuitivos para que não se tornem eles próprios um custo insuportável face ao benefício que proporcionam.

O objetivo deste trabalho é a realização de uma bancada de testes automática para análise de funcionamento de bombas hidráulicas. Procura-se igualmente que a bancada tenha uma automação elevada e uma interface mais amigável do utilizador. Selecionou-se todos os componentes integrantes para a bancada, desde a base, banca, depósitos, bombas hidráulicas centrífugas, tubagem, caudalímetros, válvulas duas vias motorizadas, variadores de frequência, válvulas “on/off”, válvulas anti-retorno, consolas e software a utilizar. Não descurando o fator da ergonomia e segurança.

Os testes e simulações de avaria para as bombas hidráulicas, são efetuados com as consolas ou computador, são inseridas essas simulações para permitir comparar em tempo real a curva característica das bombas em estudo com o seu real desempenho nos diversos tipos de simulações. Com isto, é possível simular o esforço de bombagem necessário para bombear um fluido a uma determinada distância e altura, foi adicionado o teste de bobinagem, que permite verificar o consumo elétrico do motor em esforço.

A recolha de dados pode ser feita em tempo real ou no final de cada simulação. As duas consolas, uma tátil com visualização de gráficos ao nível do caudal e consumos energéticos, e a outra só de ordens, permitem retirar o cartão de memória que está no autómato (Soft Logo 8), com o qual se exporta os dados diretamente para o Excel. Com

estes pode traduzir-se a informação em gráficos de linhas, colunas ou ganhos/perdas para melhor leitura.

## **Palavras-Chave**

Consola, variador de frequência, válvulas, hidráulica, eletrónica.

## **Abstract**

Due to the predominant place the hydraulic centrifugal pumps occupy in the various areas, industrial applications, fluid transportation , where these are introduced more and more each time, namely in the gas and feeding oil industry, paper, agriculture, irrigation work, climatization, etc., there is a need of keeping stopping times at a minimum, and with that reducing equipment costs, as well as obtaining the best performance possible.

The planned and timely intervention of these pumps can avoid severe malfunctions, consequently increasing the systems' trustworthiness, along with their economic efficiency. For that to happen, regular tests and inspections are necessary, which shall be quick, automatic, and intuitive, so that the checkups themselves don't become an unbearable cost in comparison with the benefit they provide.

The purpose of this project is the implementation of an automatic test stand for the functioning analysis of hydraulic pumps. It is equally sought that the stands have an automated elevation and a more user-friendly interface. All the integral components for the stand were selected, from the base, counter, deposits, hydraulic centrifugal pumps, tubing, and flowmeters, to two-way motorized valves, frequency inverters, on/off valves, non-return valves, consoles and software to be used. This without neglecting the ergonomic and safety factors.

The malfunction tests and simulations for hydraulic pumps are completed with the consoles or with a computer, and then those simulations are inserted back into those consoles, so that the characteristic curve of the pumps in question can be compared, in real time, with their real performance in the diverse types of simulations. With this, it is possible to simulate the pumping effort necessary to pump a fluid to a certain distance and height with the addition of a pumping test, which allows to check the electric consumption of the motor in effort.

The data recovery can be completed in real time or at the end of each simulation. The two consoles, one tactile with graph visualization of the flow level and energy consumptions, and the other just of orders, allow the memory card to be taken out of the automaton (Soft Logo 8), with which the data can be directly exported to Excel. With this

the information can be expressed in line, column, or wins/losses graphs for a better understanding.

## **Keywords**

Console, frequency inverter, valves, hydraulic, electronics.

---

## Índice:

Agradecimentos .....	iii
Resumo .....	iv
Palavras-Chave .....	v
Abstract .....	vi
Keywords .....	vii
Índice: .....	viii
Lista de siglas e símbolos .....	xiv
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento .....	1
1.2 Motivação e Objetivo .....	2
1.3 Organização da tese .....	3
2 Bombas hidráulicas .....	4
2.1 Inspeção e testes regulares .....	4
2.2 Classificação das bombas centrífugas .....	4
2.3 Composição da bomba centrífuga .....	5
3 Tubagem .....	7
3.1 Bancadas de teste de bombas centrífugas .....	7
3.2 Bancadas existentes .....	9
4 Projeto da Bancada Hidro TID .....	10
4.1 Componentes integrantes da bancada de ensaios .....	10
4.2 Instalação de toda a hidráulica da bancada de testes .....	32
4.3 Instalação Elétrica da bancada .....	34
4.4 Programação componentes .....	41
4.5 Configurações e programação HMI táctil .....	46
4.6 Programação das consolas .....	47
4.7 Criação da interface como utilizador .....	50
5 Segurança e Manutenção preventiva .....	60
6 Estudos Teóricos .....	62
7 Testes e resultados .....	67
7.1.1 Gráficos .....	69

8	Análise económica.....	70
9	Conclusões e Perspetivas Futuras .....	71

---

**Índice de figuras:**

Figura 1:Tipos de bombas (Semi-Axial, Vertical, Radial) [3].....	4
Figura 2:Vista dos componentes internos de uma bomba centrifuga [3].....	5
Figura 3:Foto da voluta [3] .....	6
Figura 4:Esquema da Bancada de Testes de bombas hidráulicas [2] .....	10
Figura 5:Funcionamento da bomba [1].....	12
Figura 6:Bombas hidráulicas .....	13
Figura 7:Linhas de aspiração e paralelo.....	14
Figura 8:Linhas de aspiração/descarga/paralelo/série.....	14
Figura 9:Caudalímetro [6].....	15
Figura 10:Caudalímetro comando digital [6].....	16
Figura 11:Válvulas motorizadas de duas e três vias/parte elétrica [17].....	16
Figura 12:Válvula anti-retorno [18].....	17
Figura 13:Transdutor de pressão Piezométrico.....	18
Figura 14:Sonda de temperatura PT 100.....	19
Figura 15:Quadro elétrico .....	20
Figura 16:Data logger .....	20
Figura 17:Conversor de frequência.....	21
Figura 18:Ligações elétricas do variador .....	22
Figura 19:Depósito em aço inox .....	23
Figura 20:Base estrutural em alumínio .....	25
Figura 21:Perfil [7].....	26
Figura 22:Sistema de fixação da base [7] .....	26
Figura 23:Sistema fixador da base [7] .....	26
Figura 24: Banca de escoamento .....	27
Figura 25: Consola Táctil.....	28
Figura 26: Desenho da caixa protetora em 3D.....	28
Figura 27: Conversão para impressora 3D.....	29
Figura 28: Impressora 3D e rolo de PLA.....	30
Figura 29: Impressão peça 3D .....	30
Figura 30: Pormenor do acabamento .....	31
Figura 31: local da consola .....	31

---

Figura 32:Válvulas modulantes .....	32
Figura 33:Linha de aspiração bomba 1 .....	33
Figura 34:Válvula “on/off” .....	33
Figura 35:Vários sensores .....	34
Figura 36:Ligação das bombas .....	34
Figura 37:Ligação do quadro das válvulas “on/off” .....	35
Figura 38:Alimentação do autómato e válvulas.....	35
Figura 39:Ligação da régua de bornes .....	36
Figura 40:Ligação do quadro elétrico principal .....	37
Figura 41:Alimentação/bomba 1/ bomba 2/ ventilação quadro .....	37
Figura 42:Betoneira de emergência .....	38
Figura 43:Alimentação Bomba 1/bomba 2/ avaria b1 e b2 .....	38
Figura 44:Start/Stop das bombas ½ .....	39
Figura 45:Sensores de pressão ½ .....	39
Figura 46:Ligação das cartas do autómato.....	40
Figura 47:Ligações dos fim-de-curso .....	40
Figura 48:Ligação da régua de bornes .....	41
Figura 49: 1 <i>Data logger</i> .....	42
Figura 50:Ordens de arranque a partir do Data logger.....	42
Figura 51:Ordem on/off .....	43
Figura 52:Recolha de dados dos ensaios.....	43
Figura 53:Designação dos acrónimos .....	45
Figura 54: Endereçamento .....	49
Figura 55: Tags .....	50
Figura 56: Menu inicial.....	53
Figura 57: Menu de visualização e seleção.....	54
Figura 58: Funcionamento bomba 1 .....	54
Figura 59: Funcionamento bomba 2 .....	55
Figura 60: Funcionamento Serie .....	55
Figura 61: Funcionamento paralelo .....	56
Figura 62: Ajuda ecrã Visualizações .....	56
Figura 63: Ajuda ecrã principal .....	57

---

Figura 64: Ajuda do ecrã Parâmetros.....	57
Figura 65: Ajuda Gráficos.....	58
Figura 66: Menu Parâmetros.....	58
Figura 67: Gráfico do funcionamento da bomba .....	59
Figura 68: Leituras gráfico.....	59
Figura 69: Transferência de calor por condução [A, D] [10].....	66
Figura 70: caudal/consumo energético .....	69

**Índice de tabelas:**

Tabela 1: Componentes.....	5
Tabela 3: Componentes integrantes da bancada .....	11
Tabela 4:Funcionamento B1 .....	44
Tabela 5:Funcionamento B2 .....	44
Tabela 6:Funcionamento série .....	44
Tabela 7:Funcionamento paralelo .....	45
Tabela 8: Dados técnicos básicos.....	46
Tabela 9: Acesso de dados do dispositivo HMI.....	50
Tabela 2:Normas de segurança .....	61
Tabela 10:Tabela de orçamentos.....	70

---

## Lista de siglas e símbolos

- V- Volume  
D- Diâmetro  
r- Raio  
 $m^3$ - Metro cúbico  
l- Litro  
v- Velocidade  
Q- Caudal  
A- Área  
C- Coeficiente *Hazen-Williams*  
L- Comprimento  
J- Perdas de Carga  
 $H_f$ - Perdas de Carga na linha  
 $L_e$ - Comprimento Equivalente  
 $H_m$ - Altura manométrica da instalação  
 $H_g$ - Altura geométrica  
kw- kilowatt  
*Hp- Horse Power*  
*H<sub>d</sub>- Head Discharge*  
*H<sub>s</sub>- Head Suction*  
 $P_{in}$ - Potência Entrada  
 $P_{out}$ - Potência Saída  
Z- Altura de água no tanque  
W- Largura do tanque  
h- Altura do tanque  
ρ- Densidade  
g- Aceleração gravítica  
η- Eficiência  
 $W_x$ - Momento Resistência  
 $\sigma_{cedencia}$ - Tensão de Cedência  
 $Mf_{máx}$ - Momento Flector Máximo
-

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

A proliferação de bombas hidráulicas para os mais diversos fins é uma realidade dos nossos dias. A grande maioria da população dos países desenvolvidos e em vias de desenvolvimento depende deste tipo de dispositivos no seu dia-a-dia. Desde as simples aplicações domésticas até as mais complexas aplicações industriais passando por áreas tão sensíveis como o ambiente hospitalar, salas de servidores informáticos, todos dependem destes dispositivos para o seu funcionamento.

Historicamente a primeira máquina que poderia ser caracterizada como bomba centrífuga, era uma máquina que transportava lama. Esta surgiu em meados de 1475 e foi fabricada pelo engenheiro italiano do período renascentista *Francesco Di Giorgio Martini* [1].

As bombas centrífugas apenas surgiram mais tarde no século XVII e o seu inventor foi *Denis Papin*. A diferença mais visível nas bombas de *Denis Papin* em relação às atuais está nos veios do núcleo. Os “primeiros” veios do núcleo eram rectos<sup>1</sup>, enquanto atualmente são utilizados veios curvos<sup>2</sup> [2].

As bombas centrífugas são extremamente utilizadas em instalações hidráulicas para o transporte de fluídos, tendo várias aplicações nas áreas da indústria e do comércio, particularmente na indústria do gás e óleo alimentar, papel, agricultura, trabalhos de irrigação, climatização, etc. As bombas centrífugas são do tipo turbomáquinas, de eixo simétrico<sup>3</sup> pertencentes à classe referida. Estes tipos de bombas são habitualmente usados na condução de fluidos, através da inércia cinética rotacional em energia hidráulica no fluxo do fluido. A energia cinética resulta normalmente do trabalho do motor [2] [1].

Tem como princípio de funcionamento a força centrífuga através de palhetas e impulsor (*impeller*), que giram no interior de uma carcaça estanque, projetando líquido do centro para a periferia do conjunto. devem ser sempre instaladas válvulas anti-retorno na saída das mesmas.

---

<sup>1</sup> Também conhecido como fole de Hesse

<sup>2</sup> Estes foram introduzidos no mercado por JonhAppold

<sup>3</sup> Simétrico ao eixo.

## 1.2 Motivação e Objetivo

Em resultado do elevado índice de funcionamento a que as bombas hidráulicas são sujeitas, leva a que estas tenham um grande desgaste. Quando surge uma falha do equipamento, na maioria das vezes, o equipamento é substituído por completo. Este facto pode ser evitado caso exista uma manutenção preventiva dos equipamentos. A intervenção previa e atempada destas bombas pode evitar avarias graves, aumentando a fiabilidade dos sistemas, bem como a eficiência económica dos mesmos. Para isso, é necessária a realização de inspeções e teste regulares que devem ser rápidos, automáticos e intuitivos, para que não se tornem eles próprios um custo insuportável face ao benefício que proporcionam. Neste contexto, a existência de bancadas de teste são de fulcral importância.

No âmbito deste trabalho, realizou-se uma prospeção de mercado a bancadas de teste para bombas hidráulicas. Constatou-se que as bancadas existentes eram de funcionamento manual e com funções de teste muito básicas.

Estas bancadas de teste não satisfazem completamente as necessidades atuais do mercado tornando ineficiente a manutenção preventiva deste equipamento (ver capítulo 4).

Com este trabalho, dá-se uma visão da utilidade das bancadas de ensaios em contexto académico, como também em contexto empresarial.

Devido às necessidades atuais do mercado, como também á escassez deste tipo de equipamentos, o objetivo deste trabalho é a realização de uma bancada de teste automática, que permita a análise de funcionamento de bombas hidráulicas. No desenvolvimento deste trabalho, pretende-se mostrar todo o processo para a realização deste equipamento, como também apresentar todas as etapas realizadas, desde o início da construção, bem como as melhorias implementadas ao longo da evolução do trabalho.

A bancada tem também como objetivo analisar as características de funcionamento das bombas hidráulicas, comparando os resultados obtidos no teste com as características técnicas fornecidas pelo fabricante. No final de cada teste realizado, pretende-se que o equipamento forneça um relatório dos resultados obtidos, de forma a uma posterior análise mais cuidada.

No desenvolvimento deste equipamento foi desenvolvido um software e realizada a montagem do sistema hidráulico da bancada.

### 1.3 Organização da tese

Para além deste capítulo introdutório, nesta dissertação de mestrado, é demonstrada a utilidade da bancada de testes no meio industrial e académico.

Este trabalho encontra-se organizado em (9) nove capítulos.

- No primeiro capítulo encontra-se a introdução à temática. Aqui são apresentadas as raízes das bombas centrífugas como também a sua utilidade nos dias de hoje. Ainda na parte introdutória, são apresentados os tipos de bancadas de testes de bombas centrífugas como também é relevada a sua utilidade para observar o real desempenho das bombas centrífugas.
- No segundo capítulo, encontra-se as bombas hidráulicas, desde a inspeção, classificação e os componentes.
- No terceiro capítulo, encontra-se a tubagem utilizada, a bancada de testes e as bancadas existentes.
- No quarto capítulo, é apresentado o plano de manutenção preventiva e segurança da bancada, um dado importante para a conservação e duração da bancada de testes.
- No quinto capítulo, é abordado o desenvolvimento da bancada de testes. Aqui é descrito o percurso até a materialização da ideia. Desde a análise de exemplos, até à idealização, passando pelo estudo da ergonomia e dos componentes da bancada.
- No sexto capítulo, são apresentados todos os cálculos, desde os de potência e rendimento do motor, a capacidade do depósito, os hidráulicos, a condutividade térmica e a altura manométrica. Por fim, é apresentado um exemplo prático da altura manométrica.
- No sétimo capítulo são apresentadas as análises e conclusões dos testes efetuados com a bancada. Estas conclusões dizem respeito ao funcionamento das bombas hidráulicas, em termos de altura manométrica e consumos elétricos.
- No oitavo capítulo, é apresentada a análise económica. Aqui é apresentada uma comparação de custo com outras bancadas, sendo a comparação efetuada entre (3) três marcas de referência (Sidilab, Edibon, Gunt).
- No nono capítulo, são apresentadas as conclusões e melhorias futuras.

## 2 Bombas hidráulicas

### 2.1 Inspeção e testes regulares

Em resultado das elevadas cargas horárias que estas bombas são sujeitas, na maior parte das vezes, o equipamento é substituído por completo na sequência de falhas graves. Quando não existe necessidade para tal, opta-se por efetuar uma manutenção preventiva do equipamento. Isto porque, este ainda pode estar a funcionar corretamente, ou pode apenas ser um dos seus componentes integrantes que sofreu desgaste e necessita de substituição. Desta forma é possível poupar dinheiro e tempo, através da inspeção e teste regulares, de forma a verificar se este ainda trabalha de acordo com as suas especificações e rendimento. Outra das vantagens das inspeções regulares é evitar paragens forçadas, devido a uma falha que pode ser grave.

### 2.2 Classificação das bombas centrífugas

Em função dos tipos e formas dos rotores como observado na figura 1, as bombas centrífugas podem ser divididas na seguinte classificação:

- Radiais (Puras ou Horizontais)<sup>4</sup>
- Fluxo misto (ou Semi-Axial)<sup>5</sup>
- Fluxo Axial ou Vertical<sup>6</sup>



Figura 1:Tipos de bombas (Semi-Axial, Vertical, Radial) [3]

---

<sup>4</sup>Quando a direção do fluido bombeado é perpendicular ao eixo de rotação.

<sup>5</sup>Quando a direção do fluido bombeado é inclinada em relação ao eixo de rotação.

<sup>6</sup>Quando a direção do fluido bombeado é paralela em relação ao eixo de rotação.

## 2.3 Composição da bomba centrífuga

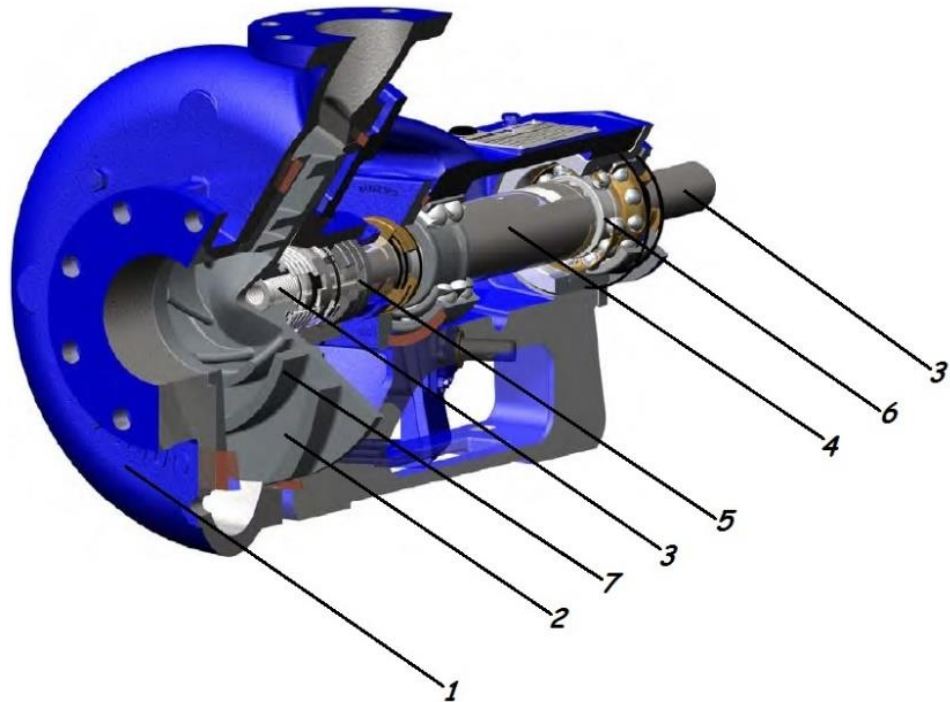


Figura 2: Vista dos componentes internos de uma bomba centrífuga [3]

Tabela 1: Componentes

Legenda	
Número	Componente
1	Voluta / Turbina
2	Rotor
3	Eixo
4	Manga Protetora Eixo
5	Anéis de Desgaste
6	Selos Mecânicos
7	Difusor

Seguidamente serão descritos os componentes de uma bomba hidráulica:

- Turbina, impulsor (impeller);

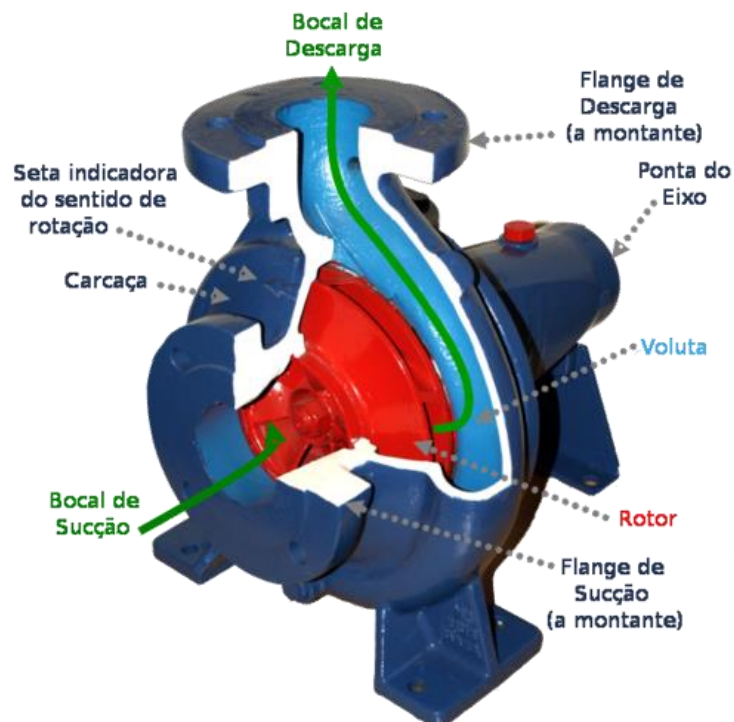
A turbina é o componente giratório, dotado de pás que tem a função de transformar a energia mecânica de que é dotado em energia de cinética e energia hidráulica. Em função da velocidade específica da bomba, o rotor pode ser do tipo radial, semi-axial ou axial.



**Ilustração 1: Turbina(Runner) de uma bomba centrífuga [3]**

- Voluta;

É responsável pela contenção do fluido bombeado bem como provêm a oportunidade para a conversão da energia cinética contida no fluido em energia hidráulica, passo fundamental para o bombeamento.



**Figura 3: Foto da voluta [3]**

### 3 Tubagem

A tubagem é o elemento que transporta o fluido ao longo do circuito, fazendo parte dos constituintes principais da bancada.

Devido à extrema variabilidade dos materiais e das condições de exposição, é difícil avaliar o tempo máximo recomendado de utilização. Isto porque, a partir de uma certa idade em funcionamento, as fugas e gastos com reparos pontuais da tubagem passam a ser significativos, compensando serem substituídos por novas.

Sob condições de exposição bastante favoráveis ao longo de toda a vida útil, estima-se os seguintes períodos económicos para diferentes materiais de tubulações:

- Cerca de 20 a 25 anos para tubos de PVC (podendo chegar a 45 anos);
- Cerca de 12 a 18 anos para tubos de aço galvanizado com conexões de ferro maleável galvanizado (porém atualmente apenas de 8 a 10 anos em certas localidades);
- Mais de 80 anos para os tubos de cobre com conexões de cobre/bronze, quando expostos a água não agressiva.

Tubagens com materiais de tecnologia de produção mais recente, como o CPVC (cloreto de polivinila clorado), o polietileno reticulado (PEX) e o polipropileno random (PPR), ainda não alcançaram idade em uso suficiente para a avaliação económica do tempo de vida útil, contudo estimando-se uma durabilidade semelhante à do PVC.

#### 3.1 Bancadas de teste de bombas centrífugas

O teste das bombas numa bancada de ensaio não é uma solução que agrade os fabricantes pois este tem interesse na venda de um equipamento novo e poucos são os que fabricam bancadas de teste para as suas bombas. Contudo, é facilmente visível a sua utilidade. Estas permitem perceber não só a durabilidade das bombas e dos seus componentes, como também perceber se o desempenho dos equipamentos está de acordo com as especificações e requisitos.

As bancadas de bombas hidráulicas são equipamentos de difícil acesso no nosso país, pois têm um elevado custo. Estas podem ser divididas em dois grandes grupos:

- Bancadas didáticas;

Têm uma dimensão reduzida de aproximadamente 2000x800x900 e são direcionadas para a realização de ensaios no sentido do estudo e investigação.

- Bancadas industriais;

Permitem o teste a bombas de grande porte.



**Figura 15: Didática [15]**



**Figura 16: Industrial**

Normalmente, ambas realizam os mesmos ensaios e testes, tendo como principal diferença o porte das bombas. Ambas as bancadas, estão direcionadas para bombas centrífugas, que mais não são que, sistemas hidráulicos em que as bombas são alimentadas por uma fonte de energia, que podem ser motores e ou geradores.

### 3.2 Bancadas existentes

Para a realização desta bancada, foi realizado um levantamento exaustivo relativamente ao que havia no mercado e nas faculdades de ensino. Por contacto telefónico às faculdades, pesquisou-se se as mesmas tinham esse tipo de bancada de ensaio de bombas hidráulicas centrífugas.

Foram efetuadas visitas a várias faculdades. Contudo, não foi encontrado nada parecido com o que era pretendido nem com o nível de automação requerido.

De seguida, sucederam-se diligências a nível internacional, sendo encetados contactos com duas marcas fabricantes deste tipo de material, via correspondência eletrónica. A Gunt (Alemanha) e a Edibon (Espanha). Os dois providenciaram documentação de todo o tipo de material que tinham na vertente desejada. A Edibon foi a empresa que se prontificou a um workshop nas suas instalações em Madrid (Espanha), para in loco constatar-se se era aquilo que se pretendia.

O convite para a visita à fábrica em Madrid foi aceite. A receção e acolhimento foi realizada pela Eng.<sup>a</sup> Sara Bravo (responsável pela instalação do material nas faculdades e empresas em todo o mundo, para apoio didático e técnico), pela Dr.<sup>a</sup> MyriamBonilla e o presidente do grupo Edibon, Eng.<sup>o</sup> ElíasBonilla.

Nessa visita constatou-se que a empresa tinha uma bancada de testes de bombas hidráulicas centrifugas com um software muito bom, o Scada. Embora este permita introduzir simulação de avarias, a bancada continha as mudanças de série e paralelo manuais e através de válvulas esféricas, o que era algo que não era pretendido. Isto porque o objetivo seria fazer uma bancada totalmente automatizada. Essa visita foi bastante produtiva porque deu para perceber os pontos onde poderia melhorar ainda mais a bancada, como também perceber com exatidão as suas vantagens em relação às demais.

## 4 Projeto da Bancada Hidro TID

Neste capítulo será demonstrado todos os componentes que constituem o projeto, funcionamento da bancada, montagem das bombas hidráulicas, linhas de aspiração, motor, caudalímetros, válvulas, transdutores de pressão, sonda de temperatura PT100, quadro elétrico, data logger, reservatórios, tubagem, base, banca de escoamento, consola, desenho 3D e a impressão.

### 4.1 Componentes integrantes da bancada de ensaios

A composição da bancada modelo proposta, inclui um sistema hidráulico, que consiste na transmissão e comando de energia. A composição pode ser observada na figura seguinte. O mesmo sistema é essencialmente constituído por três tipos de órgãos:

- Fonte de energia Hidráulica (ex. bombas centrífugas);
- Fonte de energia Cinética (ex. motor, compressor, gerador);
- Recetor (ex. tanques);
- Unidade de comando (ex. válvulas de distribuição e válvulas reguladoras).

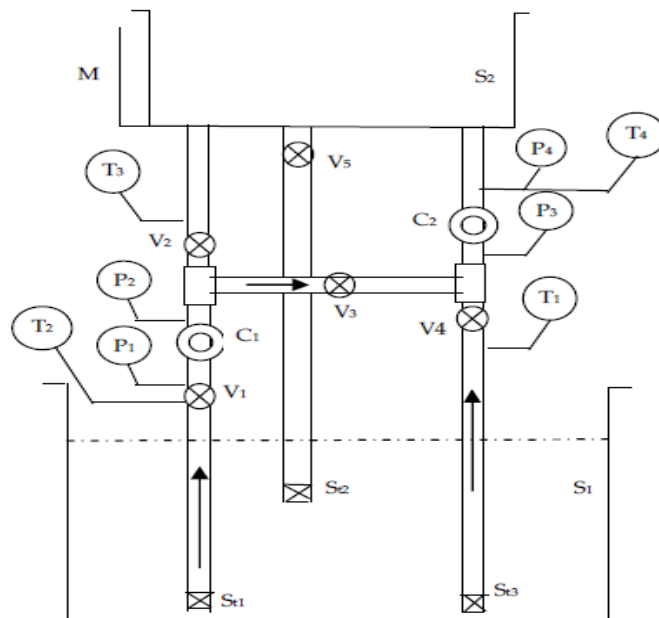


Figura 4:Esquema da Bancada de Testes de bombas hidráulicas [2]

**Tabela 2: Componentes integrantes da bancada**

<b>Legenda</b>			
R1	Reservatório de água fria		
R2	Reservatório de água quente		
B1	Bomba Centrífuga 1	R1; R2	Termómetro
		C1	Caudalímetro
		P1	Sensor de pressão
		V1	Válvula Reguladora de Caudal
B2	Bomba Centrífuga 2	R2	Termómetro
		C2	Caudalímetro
		P2	Sensor de pressão
		V2AF	Válvula Reguladora de Caudal
Circuito Geral		T	Tubagem
		V1; V7	Válvula Direcionais

### **Funcionamento da bancada**

Ao efetuar o ensaio da bomba 1 (B1) esta recebe energia mecânica (na forma de rotação) convertida por meio de energia elétrica através de um motor elétrico. De seguida, a energia mecânica é convertida em energia hidráulica através da bomba a ensaiar. Esta energia é transferida para a água que é puxada do reservatório de alimentação (D1) devido á rotação da bomba que é transferida para o núcleo da bomba (*impeller*). A água é acelerada e ganha pressão devido à forma do (*impeller*) sendo enviada pelo bocal de descarga.



+

**Figura 5:Funcionamento da bomba [1]**

O condicionamento da energia hidráulica é feito por meio de válvulas motorizadas. A água é transportada para o reservatório (R1) e (R2) por meio da tubagem externa, tubagem essa, diretamente da rede de alimentação.

O funcionamento da bomba B2 é igual ao da bomba B1. A utilização de ambas as bombas em conjunto com a válvula de 2 vias motorizada V1 e V2 permite a realização de ensaios em paralelo e série.

A bancada em questão é dotada de dois reservatórios (R1), tendo este uma resistência para aquecimento da água, e o auxiliar (R2), o funcionamento é idêntico para as bancadas de um único reservatório.

Será realizada a identificação de todos os componentes principais que poderemos encontrar na referida bancada, nomeadamente, motores elétricos, bombas centrífugas, válvulas de duas vias motorizadas, caudalímetros, datalog, variadores de frequência, resistência e termómetros.

### **Montagem das Bombas hidráulicas**

As bombas hidráulicas são as peças centrais de todo este projeto. Por esse motivo, todos os estudos de funcionamento, sejam eles, individuais, paralelo ou série, foram desenvolvidos à volta destas peças.

Um dos parâmetros de estudo mais importante das bombas, é o seu rendimento. O valor do rendimento determina em grande medida a economia e a exploração. Por isso, o seu estudo é importante e repartido em conceitos distintos, que ajudam a conhecer os fatores que dependem dele.

Exceto no caso do desenho das bombas, onde se subdivide segundo os aspetos internos da bomba, os rendimentos mais utilizados são:

- Rendimento mecânico de transmissão ( $h_m$ )
- Rendimento interno da bomba ( $h_i$ )
- Rendimento total da bomba ( $h$ )

O rendimento mecânico, expressa a relação entre a potência recebida pelo impulsor da bomba e a proporcionada pelo motor. Como é habitual nestes casos, foi realizada uma consulta às tabelas do fabricante das bombas que afirma que o rendimento é de 95 %.<sup>7</sup>



Figura 6: Bombas hidráulicas

---

<sup>7</sup> Dados fornecidos pela empresa Elias

### **Linha de aspiração das 2 bombas e paralelo**

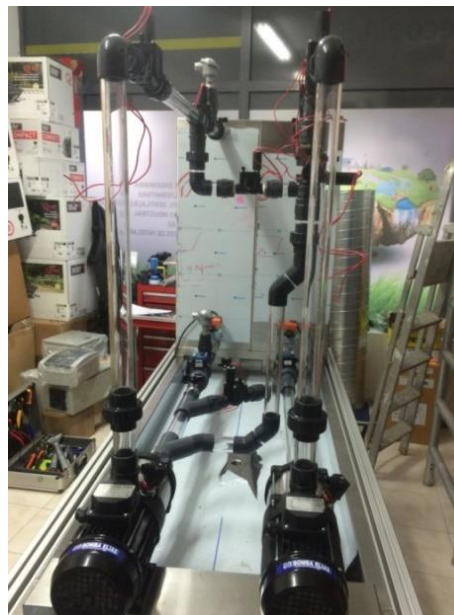
As linhas de aspiração das bombas 1 e 2 vêm como a ramal para permitir efetuar o ensaio paralelo.



**Figura 7:Linhas de aspiração e paralelo**

### **Linhas de aspiração e descarga**

Foi realizado o layout de todas as linhas de aspiração, descarga, paralelo e série, como também das válvulas “on/off” e modulantes, que vão permitir os ensaios individuais, paralelo e série.



**Figura 8:Linhas de aspiração/descarga/paralelo/série**

## Motor

Esta peça é responsável pela conversão de energia elétrica em energia cinética, transferindo-a para o restante conjunto através do acoplamento a um veio. Esta permite a regulação da sua rotação com o variador de frequência influenciando o resto do conjunto. Normalmente, estes já vêm integrados com a própria bomba centrífuga pois os mesmos, são montados de acordo com as suas necessidades.

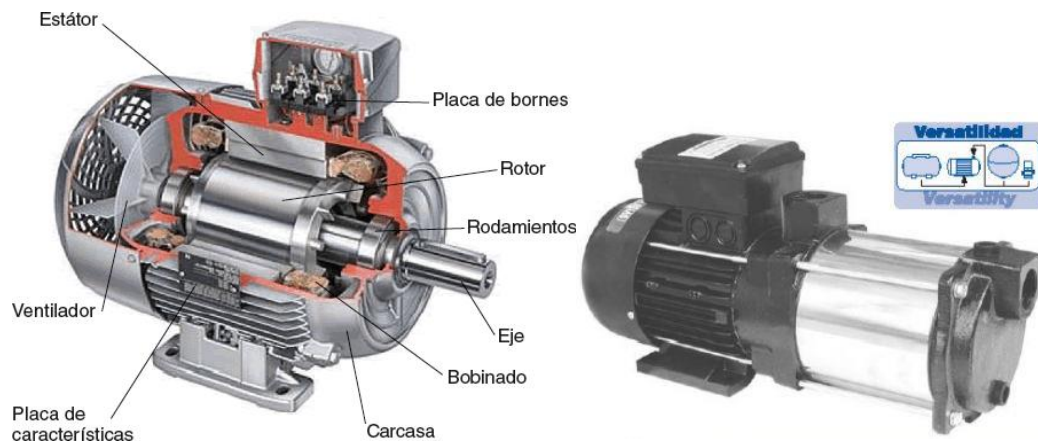


Ilustração 2 :Motor das bombas centrífugas. [5]

## Caudalímetros

Na figura seguinte é apresentado o caudalímetro utilizado nesta bancada. Este controlador inteligente com display, foi otimizado para uso em líquidos transparentes, neutros ou agressivos. Foi tido em atenção a escolha do caudalímetro mais adequado ao pretendido. Dessa forma foi escolhido um, onde o display permanecesse na parte superior do equipamento. Isto permite uma melhor observação da leitura dos valores difundidos em tempo real, de uma forma direta e simplificada.

Outra das características que pesaram na sua escolha, foi a possibilidade de ligação direta ao Datalog. Isto permite a recolha de dados e posterior análise dos mesmos.



Figura 9:Caudalímetro [6]



Figura 10:Caudalímetro comando digital [6]

## Válvulas

Uma válvula é um equipamento que regula, direciona ou controla o fluxo do fluido, através da sua abertura, encerramento, ou, parcialmente obstruindo a passagem.

Existe a mais variada gama de válvulas, cada uma com as suas características e mecanismo de funcionamento, mais ou menos apropriadas para o tipo de funções pretendidas.



Figura 11:Válvulas motorizadas de duas e três vias/parte elétrica [17]

As válvulas têm o mais variado tipo de aplicações, desde o controlo de sistemas de irrigação até a utilização industrial no controlo de processos. Também são usadas em áreas residenciais como controlo “on/off”, sendo que dependendo da aplicação, temos que ter em conta qual se adequa melhor para o propósito definido. Para esta bancada foram utilizadas válvulas motorizadas modulantes<sup>8</sup>.

Além das válvulas motorizadas, para limpeza dos depósitos e banca de drenagem, a bancada também é munida de válvulas de esfera anti-retorno manuais.

---

<sup>8</sup> Válvula com abertura selecionada pelo utilizador, 10%, 20% e assim sucessivamente.

Este é um tipo de válvula frequentemente utilizada para bloqueio em linhas de água. Estas são de utilização geral e facilmente caracterizada pela forma esférica do seu elemento de vedação.

Este tipo de válvula é simplesmente uma adaptação ou derivação da válvula macho. Ao invés da utilização de um macho normal de formato cónico ou cilíndrico, é utilizada uma esfera com orifício e ao mesmo tempo uma esfera em plástico. Dessa forma, o fluxo é regulado apenas num só sentido.

Oferece ótima vedação mesmo em altas pressões e as suas perdas de cargas são extremamente residuais, ao ponto de poderem ser desprezíveis.

Não é recomendada a sua utilização para regular o fluxo do fluido, devido á sua geometria em esfera.

Vantagens:

- Abertura e fecho rápido;
- Ótima vedação;
- Baixas perdas de carga.

Desvantagens:

- Limitada utilização deste tipo de válvulas devido às temperaturas;
- Não indicada para fluídos que possuam camadas sólidas em suspeição.

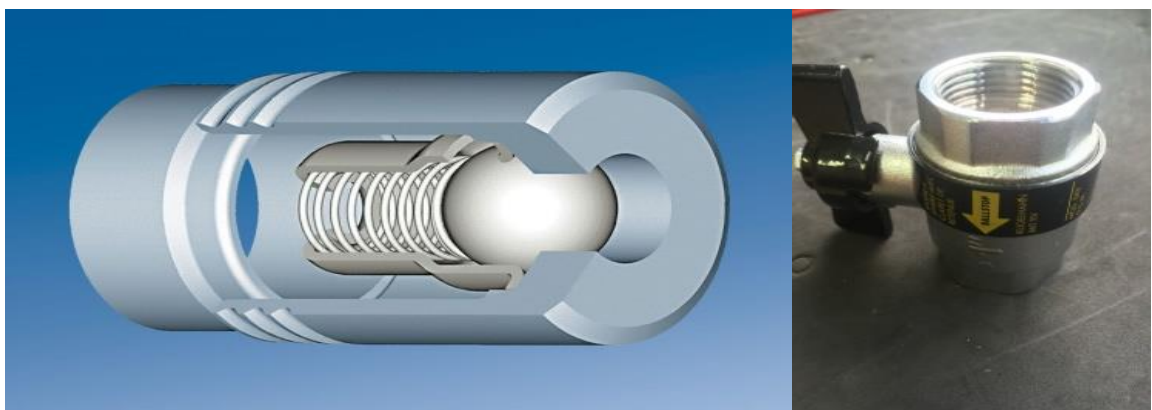


Figura 12:Válvula anti-retorno [18]

## Transdutores de pressão

O transdutor de pressão MBS 1900 Piezométrico foi projetado para uso em aplicações com ar e água. O programa do transmissor de pressão flexível cobre diferentes sinais de saída, versões absolutas e manométrica (relativa), intervalos de medição de 0-4 bar a 0-25 bar e uma ampla linha de conexões elétricas e de pressão.

O material do gabinete<sup>9</sup> é aço inox AISI 316L.

- Sinais de saída: 4 - 20 mA ou proporcional;
- Compensado digitalmente;
- Conformidade com RoHS<sup>10</sup>.



**Figura 13: Transdutor de pressão Piezométrico**

## Sonda de Temperatura PT 100

O método de utilização de resistências para medição de temperaturas teve o seu início em 1835, com Faraday. Contudo o mesmo só começou a ser utilizado em processos industriais, devido às:

---

<sup>9</sup> É a parte que está conectada ao motor e ao mesmo tempo em contacto com o fluido.

<sup>10</sup> No ano 2003, a União Europeia publicou a diretiva RoHS, **R**estriction of **H**azardous **S**ubstances (Restrição de Substâncias Perigosas) (2002/95/EC).

- Condições de alta estabilidade mecânica e térmica;
- Baixo índice de desvio pelo envelhecimento;
- Resistência à contaminação e tempo de vida elevado.

Devido a estas características, este sensor é padrão internacional para a medição de temperatura na gama dos -270 aos 660°C.



**Figura 14:Sonda de temperatura PT 100**

### **Quadro elétrico/ *Data logger***

O quadro elétrico consta de um conjunto de diversos aparelhos de proteção e manobra agrupados numa ou mais colunas adjacentes. Este conjunto deve ser assembled de forma apropriada, de forma a satisfazer os requisitos de segurança e cumprir as funções para as quais foi concebido.

A norma de referência para a construção de quadros é a IEC 61439-1 de 2009, cujo título é: “Quadros de baixa tensão e de controlo – Parte 1: Quadros de série e quadros derivados de série”, aprovada pela CENELEC com a sigla EN 61439-1.

Os guias de cálculo suplementares são:

- IEC 60890 “Método para a determinação por extrapolação do aquecimento dos quadros de baixa tensão derivados de série (QDS)”;
- IEC 61117 “Método para a determinação por extrapolação da resistência aos esforços devidos aos curto-circuitos dos quadros de baixa tensão derivados de série (QDS)”;
- IEC 60865-1 “Correntes de curto-circuito – Cálculo dos efeitos – Parte 1: Definições e métodos de cálculo”.



Figura 16:Data logger



Figura 15:Quadro elétrico

## Conversor de frequência

O conversor de frequência tem como principal função adaptar a frequência de alimentação da máquina, podendo obter valores variáveis e diferentes da frequência síncrona da rede elétrica. Isto faz com que o motor siga frequências diferentes das fornecidas pela rede, que é sempre constante. Desta forma, podemos facilmente alterar a velocidade de rotação do motor, de modo muito eficiente.

O uso de conversores de frequência é responsável por uma série de vantagens. Dependendo dos modelos oferecidos pelos fabricantes, são unidas a capacidade de variar a velocidade, com automatismos especiais já implantados no equipamento.

Esses automatismos proporcionam:

- Total flexibilidade de variação de velocidade sem grande perda do binário máximo do motor;
- Aceleração suave através de programação;

- Frenagem direta no motor sem a necessidade de freios mecânicos;
- Diversas formas de ajustes preferenciais;
- Conjugação de decisões externas, que podem ser até por meio de redes de comunicação.
- Excelente precisão de movimentos.

Além destas vantagens, os conversores ainda possuem excelente custo-benefício, pois proporcionam:

- Economia de energia elétrica;
- Maior durabilidade de engrenagens;
- Polias e outras transmissões mecânicas<sup>11</sup>.

Deve-se efetuar o arranque sempre nos 50HZ (frequência), e ir evoluindo até ao valor máximo (100HZ) de forma suave.

O conversor de frequência permite modelar o ruído produzido pela bomba hidráulica. Essa modelação é realizada através do parâmetro Maximum Switching Frequency do conversor de frequência, que consome cerca de 3% mais de energia. Este é um valor considerado pouco significativo face aos ganhos obtidos.



**Figura 17: Conversor de frequência**

---

<sup>11</sup> Por aumentar suavemente a velocidade.

Potência-2 kW

Rede- 240V

Corrente máxima de saída-6,4 A

Forma de calculo de Hz:  $F = \frac{V}{\lambda}$  ; onde,

F= Frequência

V= Velocidade

$\lambda$ = comprimento

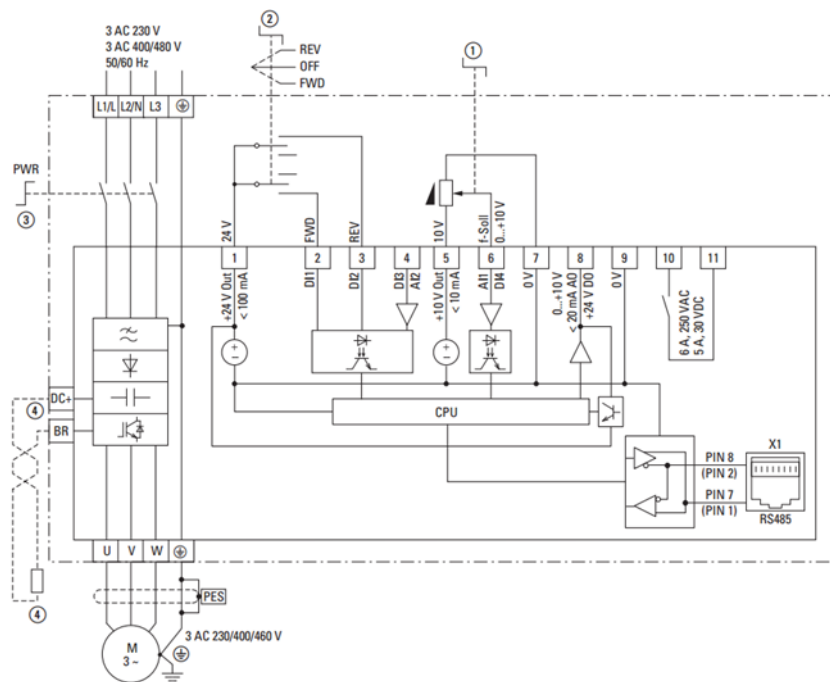


Figura 18:Ligações elétricas do variador

Na ilustração acima, estão representadas as ligações internas e o princípio de funcionamento do variador de frequência. Na ligação elétrica do variador temos:

- Rede de alimentação;
- Saída para o motor;
- Ligação a rede RS 485;
- Fonte para eletrônica e interfaces entre potência e controle;
- Saídas/ entradas digitais e analógicas;
- Saída para PC;
- Saída para relé auxiliar;
- Registo de paragem.

## Reservatórios

Os reservatórios da bancada são construídos em aço inox com 1mm de espessura, de formato retangular com 35cm de largura, 40cm de profundidade e 100cm de altura. Tem três furos, um junto a sua base, com o propósito de passar a tubagem de sucção, outro na base para a colocação de uma válvula para limpeza dos reservatórios, de forma a proceder a sua manutenção, por último, existe um na parte superior do reservatório, para o regresso do fluido depois dos testes.

Um dos reservatórios é munido de uma resistência, com a finalidade de elevar um pouco a temperatura do depósito onde esta incorporada. Para melhor conservação da temperatura no reservatório da água quente, foi colocada uma parede de isolamento em espuma poliuretano, reduzindo o volume útil do mesmo reservatório. Os reservatórios são tapados por uma única tampa amovível.

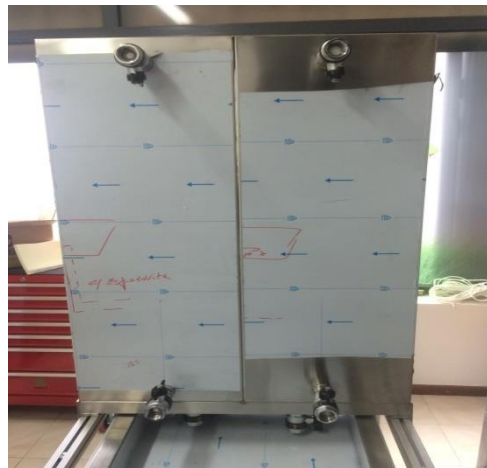


Figura 19:Depósito em aço inox

## Tubagem

A tubagem que foi selecionada, é de PVC (Polivinilo Clorado) transparente. As vantagens na utilização deste tipo de tubagem são o seu baixo custo e facilidade da instalação. Contudo, a tubagem transparente também tem a vantagem de permitir observar não só o percurso do fluido como também verificar se existem sujidade no circuito ou até mesmo detritos de bombas defeituosas.

Mesmo utilizadores inexperientes, conseguem na instalação deste tipo de material, ter uma elevada taxa de sucesso, visto as uniões deste tipo de tubagem ser de

aperto rápido<sup>12</sup> ou coladas<sup>13</sup>. Ao contrário de outros tipos de materiais, o PVC não tem qualquer tipo de risco durante a sua instalação, como por exemplo:

- O cobre;  
As suas ligações são soldadas, o que pode gerar vapores tóxicos e originar incêndios.
- As tubagens de ferro;  
Como são soldadas com materiais tóxicos tem o risco de contaminar o fluido como também a própria solda pode escorrer pelo interior da tubagem. [13]

Outra das vantagens do PVC é o seu peso. Este é relativamente baixo em relação a outros tipos de montagens com outros materiais. A tubagem conta com 34mm internos e 40mm externos, com ligações vulcanizadas. Devido à sua praticabilidade e baixo custo, outras das suas vantagens, são e baixa rugosidade, o que por consequência oferece pouca resistência á passagem do fluido.

A desvantagem do PVC é a sua sensibilidade as temperaturas. Em alguns casos, leva a ter que se efetuar um isolamento da mesma.

### **Base**

A base é um elemento fulcral para a conceção da bancada de testes. É este elemento que irá servir de suporte a todos os restantes componentes para o bom funcionamento da bancada. Este material tem que conter as propriedades e resistência adequada para aguentar a vida útil necessária para os ensaios e não afetar a vida útil de todos os outros componentes.

A base pode ser concebida das mais variadíssimas formas e materiais. Podemos dividi-los em duas partes:

- As bases estruturais;  
As bases estruturais, como o próprio nome indica são feitas a partir da conceção de uma estrutura. Estrutura esta que é construída através de materiais e processos de ligação. A base deste estudo será o material de aperto rápido, de forma a obter uma armação onde os restantes componentes serão assentes.

---

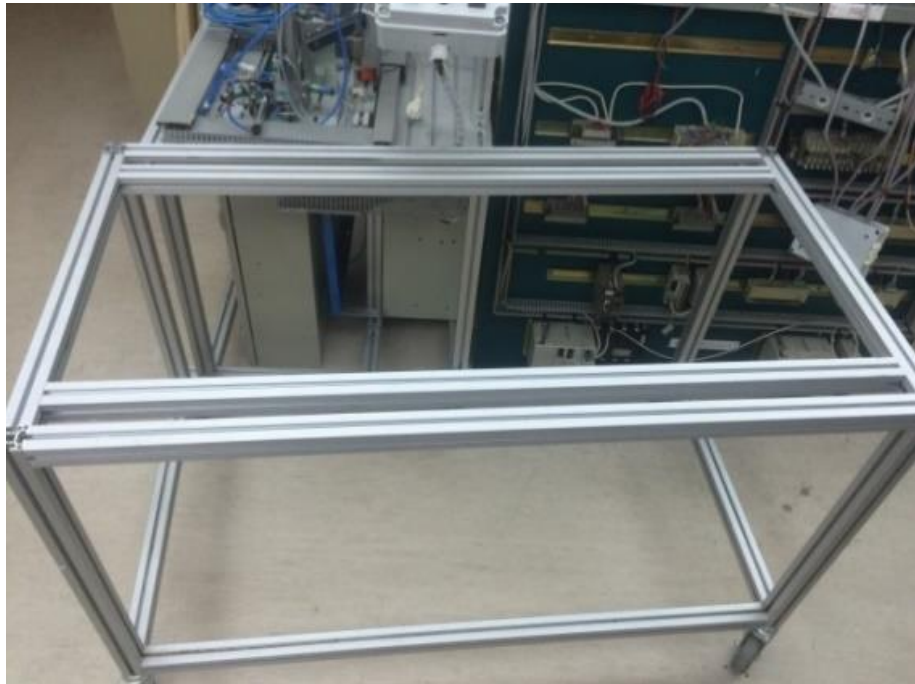
<sup>12</sup> Macho/fêmea.

<sup>13</sup> Vulcanizadas.

- As bases rígidas.

As bases rígidas, em suma, normalmente são concebidas através de uma única peça, maciça, sendo maquinada para obtenção da forma final desejada. Também podem conter apoios estruturais, mas os elementos considerados fundamentais são compostos através de uma única peça. Estas últimas, sendo mais robustas, pois não necessitam de uniões, podem ser considerados pontos frágeis na estrutura, basta uma ligação mal efetuada para se tornarem num potencial ponto de rutura da peça.

A utilização de bases rígidas reforçadas é fortemente aconselhada, pois estas reduzem vibrações e tensões internas nas bombas, o que resulta num prolongamento da sua vida útil.



**Figura 20:Base estrutural em alumínio**

Para a conceção desta bancada, a base rígida foi construída tendo como base o alumínio com perfil de 4cm×4cm×1mm.



Figura 21:Perfil [7]

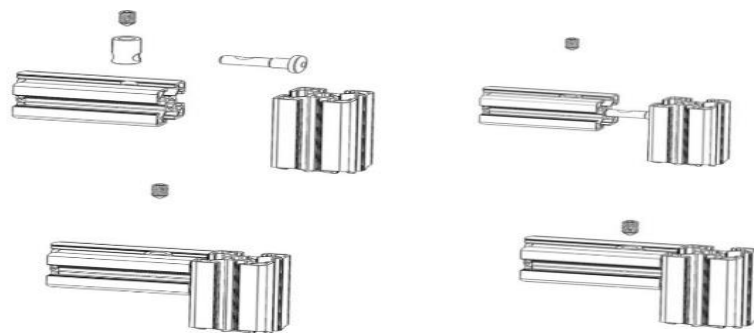


Figura 22:Sistema de fixação da base [7]

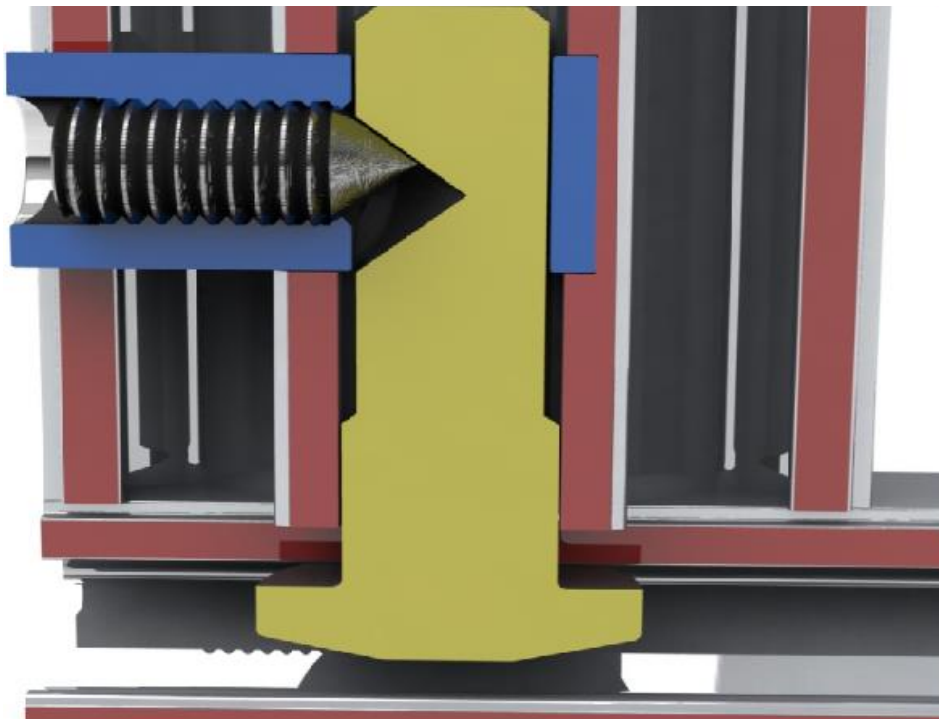
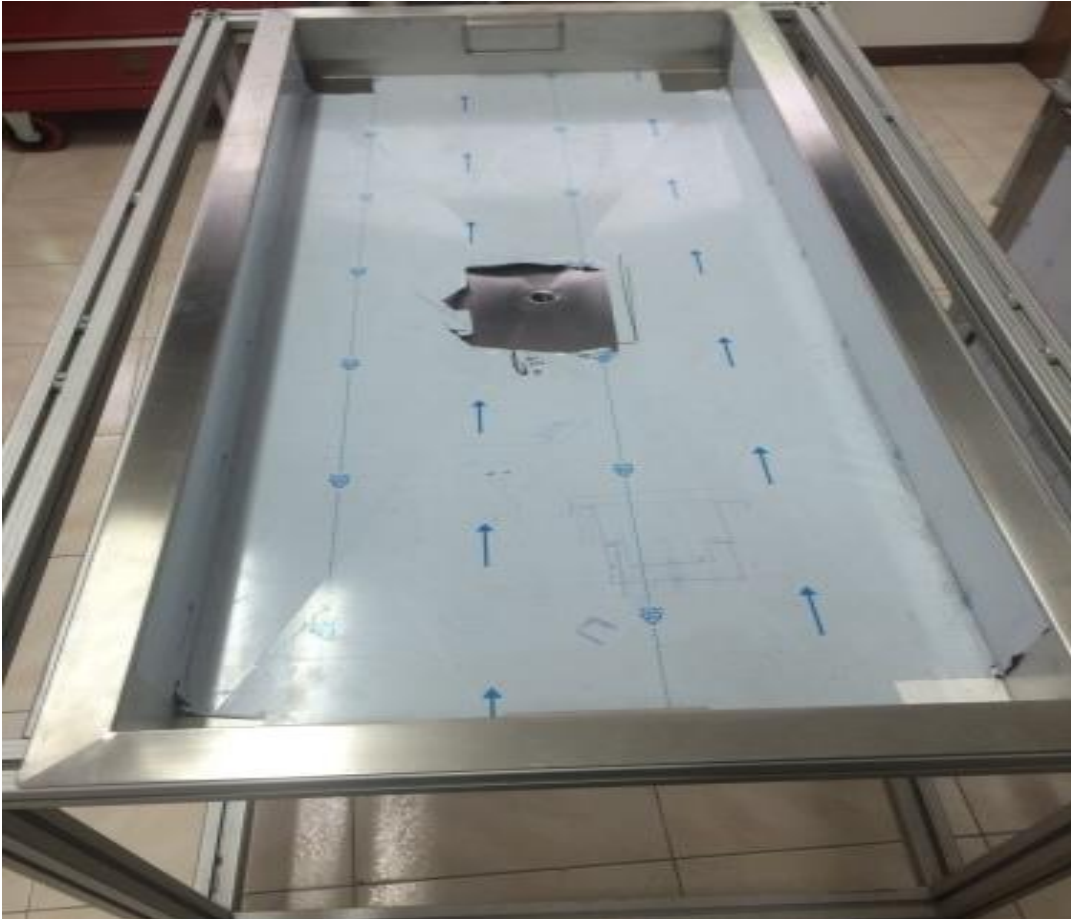


Figura 23:Sistema fixador da base [7]

### **Banca de escoamento**

Este acessório serve para que, em caso de rotura de algum tubo, válvula, ou quando for realizada uma limpeza das bombas e depósitos, seja possível armazenar a água e de seguida descarregar a mesma para o esgoto. Assim não haverá inundações durante os testes.



**Figura 24: Banca de escoamento**

### **Consola “Interface com utilizador”**

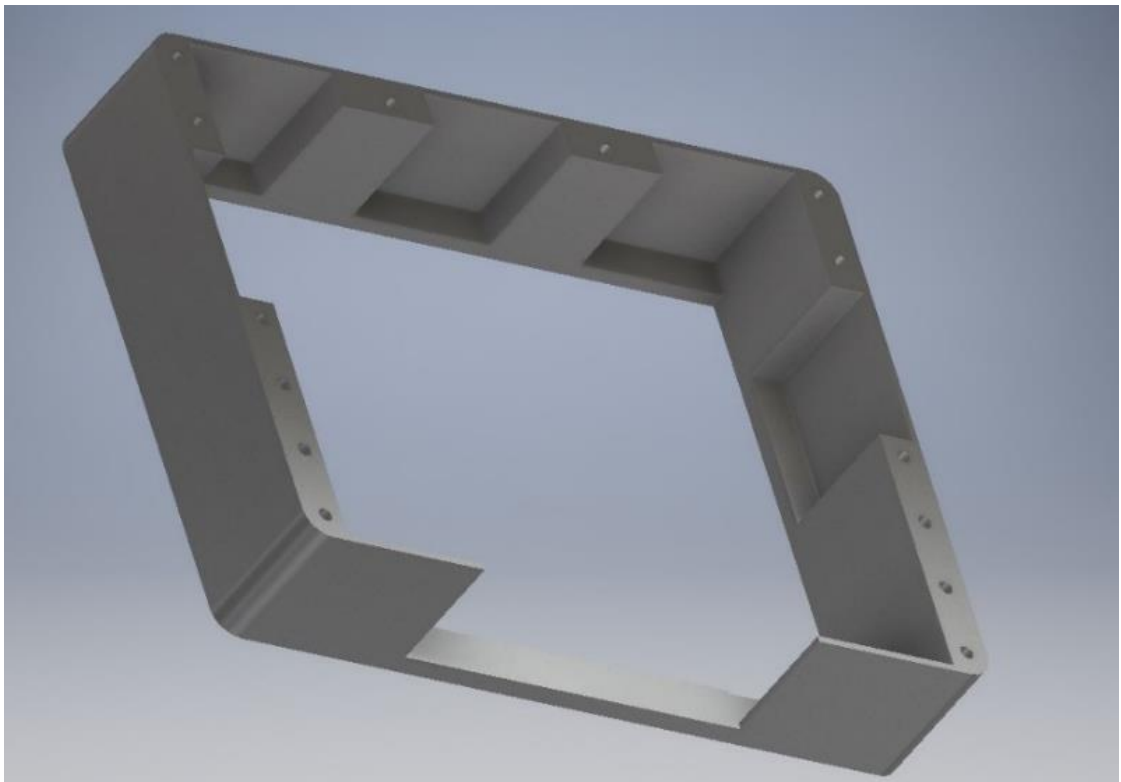
Uma das necessidades nesta bancada didática, é tornar o uso deste equipamento mais simples e intuitivo, de forma a reduzir a curva de aprendizagem. Isto permite que, os utilizadores, possam focar-se no estudo e conceitos, sem uma grande necessidade de aprendizagem do funcionamento da máquina.

Esse objetivo foi conseguido com a instalação de uma consola táctil. Através do seu ecrã de 7 polegadas, este propicia de uma forma gráfica, uma maior interatividade com o utilizador. Os ganhos na simplicidade permitem obter um melhor controlo sobre as bombas e caudal.



**Figura 25: Consola Táctil**

Após todas as configurações necessárias para o seu perfeito funcionamento com todos os sensores da bancada, foi definido um local para a colocação do mesmo. Para isso foi necessário projetar uma caixa protetora para a consola em software de desenho 3D.



**Figura 26: Desenho da caixa protetora em 3D**

Para materializar a ideia, foi utilizada uma impressora 3D. Através de várias impressões de teste, conseguiu-se identificar falhas no design que posteriormente foram eliminadas. Isto permitiu conseguir um produto final com uma qualidade extremamente satisfatória. Esta solução tem como vantagens [8]:

- Otimização;
- Personalizado;
- Replicável;
- Atualizável.

### Desenho 3D

Após o rascunho inicial onde foi criado o esboço do pretendido, foi realizada a sua criação em 3 dimensões com recurso ao software *Autodesk Inventor*®. O processo seguinte passou por transferir o desenho para um programa responsável pelo “fatiamento” da peça de forma a que a impressora consiga imprimir a peça, camada a camada.

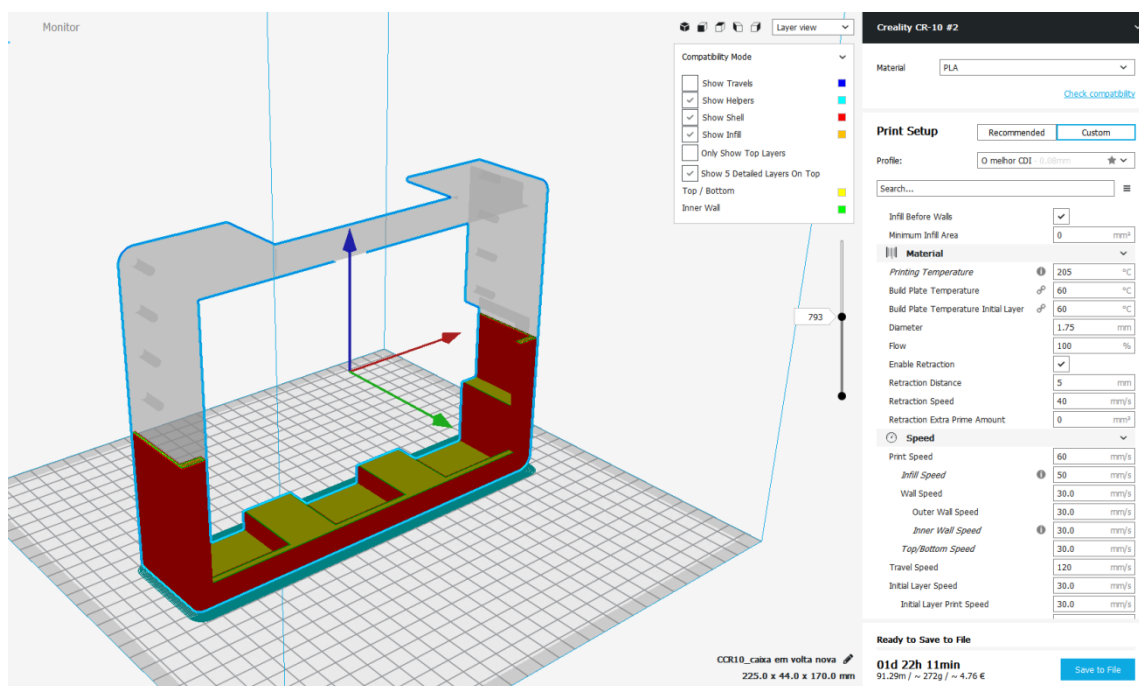
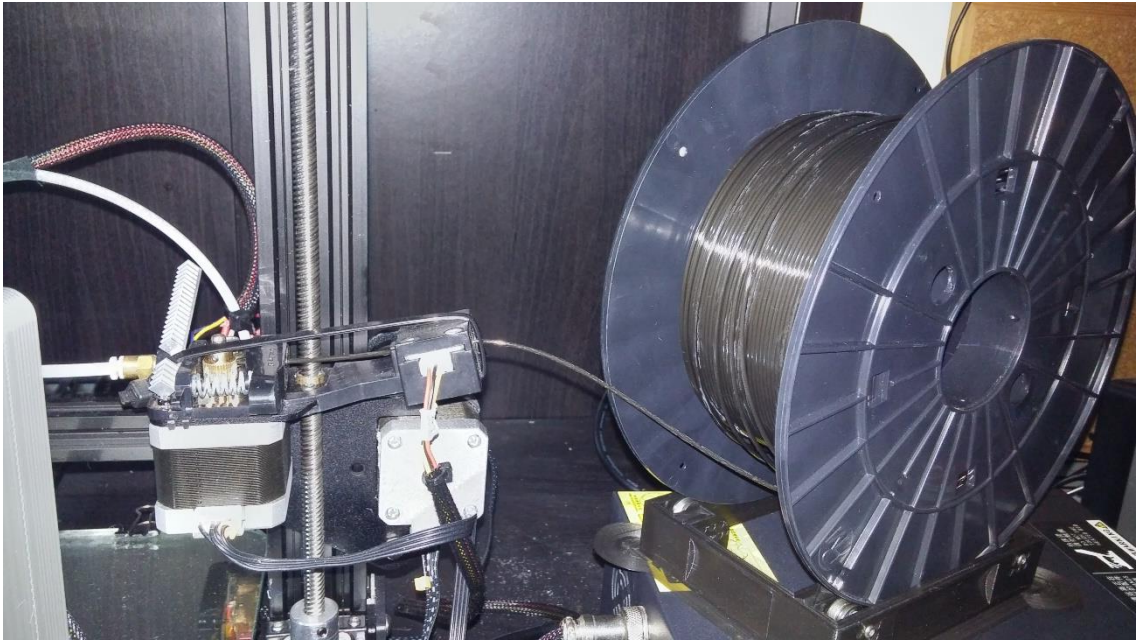


Figura 27: Conversão para impressora 3D

### Impressão 3D

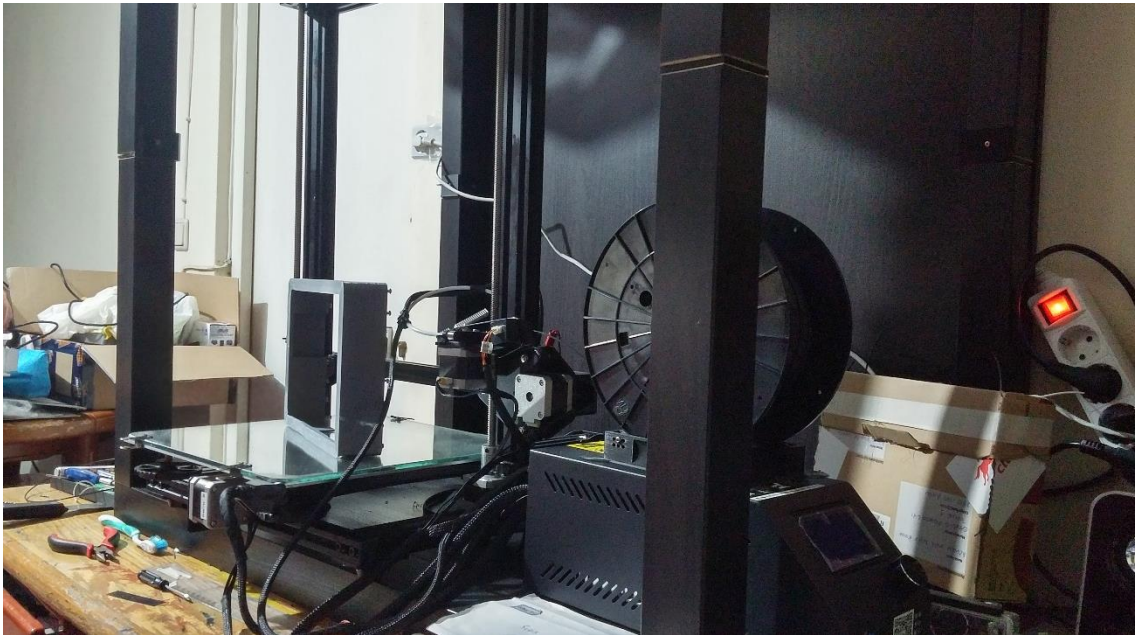
Após a criação do objeto digital, foi realizada a sua materialização com recurso a uma impressora 3D. O material escolhido foi o PLA devido às suas características de resistência.



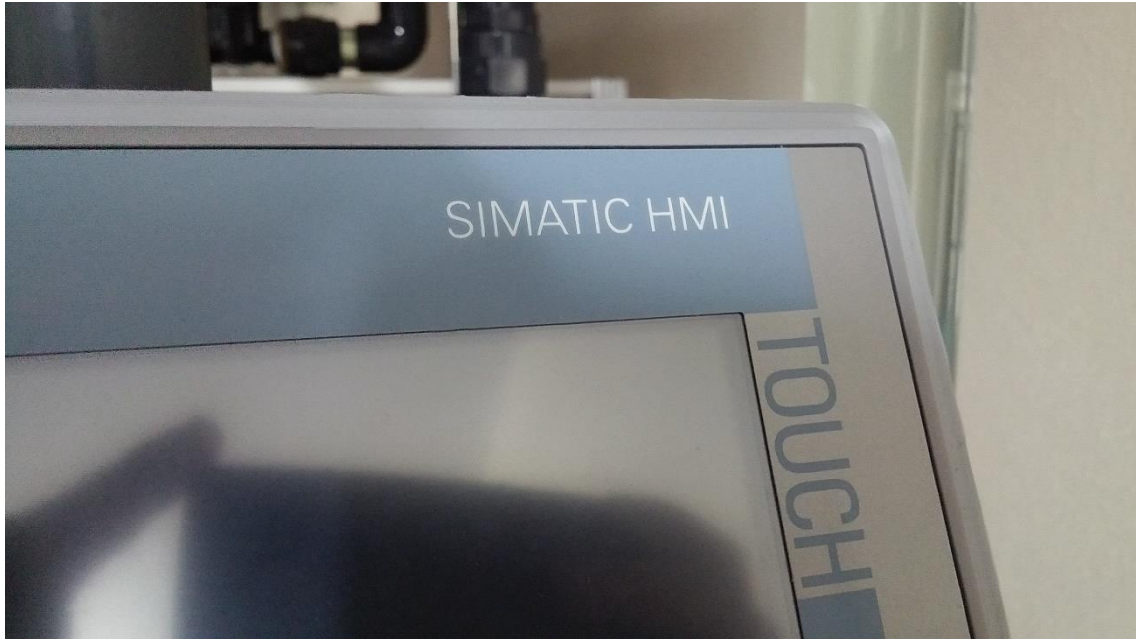
**Figura 28: Impressora 3D e rolo de PLA**

### **Impressora**

A impressora utilizada foi da marca Creality de modelo CR10S. Este modelo permite imprimir peças do tamanho máximo de  $300 \times 300 \times 400 \text{mm}$ . O modo de criação das peças é através da libertação de um termoplástico que se torna mole quando aquecido e duro quando arrefecido. Este equipamento vem com um nozzle (bocal) de 0,4mm de diâmetro e permite depositar camadas de filamento a uma resolução de 100 microns.



**Figura 29: Impressão peça 3D**



**Figura 30: Pormenor do acabamento**

### **Instalação na bancada**

Finalmente, a consola foi colocada na bancada. A ergonomia foi um ponto que mereceu especial atenção. Por esse motivo, foi colocada uma base rotativa no suporte da consola. Esta base permite inclinar o ecrã em várias direções, de forma a permitir que independentemente do tamanho das pessoas, todas possam observar o ecrã.



**Figura 31: local da consola**

## 4.2 Instalação de toda a hidráulica da bancada de testes

### Válvulas modulantes

As válvulas modulantes são as primeiras peças a ser instaladas. É com as mesmas que vamos simular perdas de carga nas bombas, ou seja, aumentando a pressão de descarga das bombas.



Figura 32:Válvulas modulantes

### Linha de aspiração da bomba 1

A aspiração da bomba 1 que vem do depósito de água quente, inclui o sensor de temperatura e caudalímetro. O sensor de temperatura vai determinar a diferença de temperatura entre a saída do depósito e a entrada do mesmo. Ou seja, vai permitir determinar a perda de temperatura ao longo da tubagem e bombas. Já o caudalímetro, permite saber em tempo real os litros que estão a ser aspirados pelas bombas.



**Figura 33: Linha de aspiração bomba 1**

### **Válvula para o teste em paralelo**

A ligação da válvula “on/off” em paralelo permitiu adicionar o ensaio de bombas em paralelo à bancada de ensaios. Esta ligação permite buscar a água ao depósito 2 (água fria), para que ambas as bombas possam retirar e colocar de volta a água no mesmo depósito, fechando dessa forma o circuito.



**Figura 34: Válvula “on/off”**

### **Aparelhos na linha de aspiração**

Na figura seguinte é possível observar a sonda de temperatura, caudalímetro, válvula “on/off” e válvula modulantes instaladas na bancada.



Figura 35:Vários sensores

### **4.3 Instalação Elétrica da bancada**

#### **Ligações das bombas elétricas 1 e 2**

Devido aos variadores de frequência instalados no quadro elétrico, a ligação das bombas, foi realizada em triângulo.

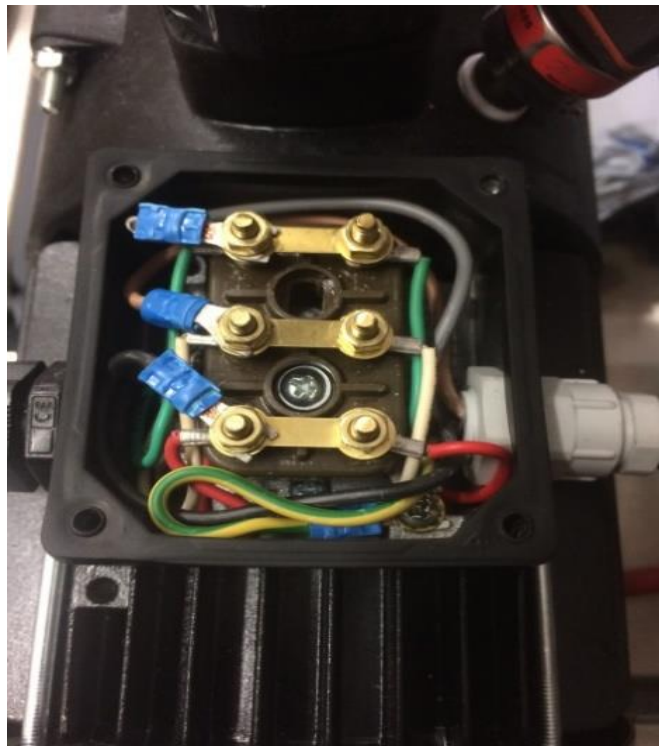


Figura 36:Ligação das bombas

## Ligação do quadro das válvulas

Foi realizada a ligação da régua de bornes no quadro destinado para as válvulas de seccionamento. Estas válvulas são alimentadas a 24 volts e permitem o teste em série, paralelo ou individual.



Figura 37:Ligação do quadro das válvulas “on/off”

## Esquema elétrico do quadro das válvulas

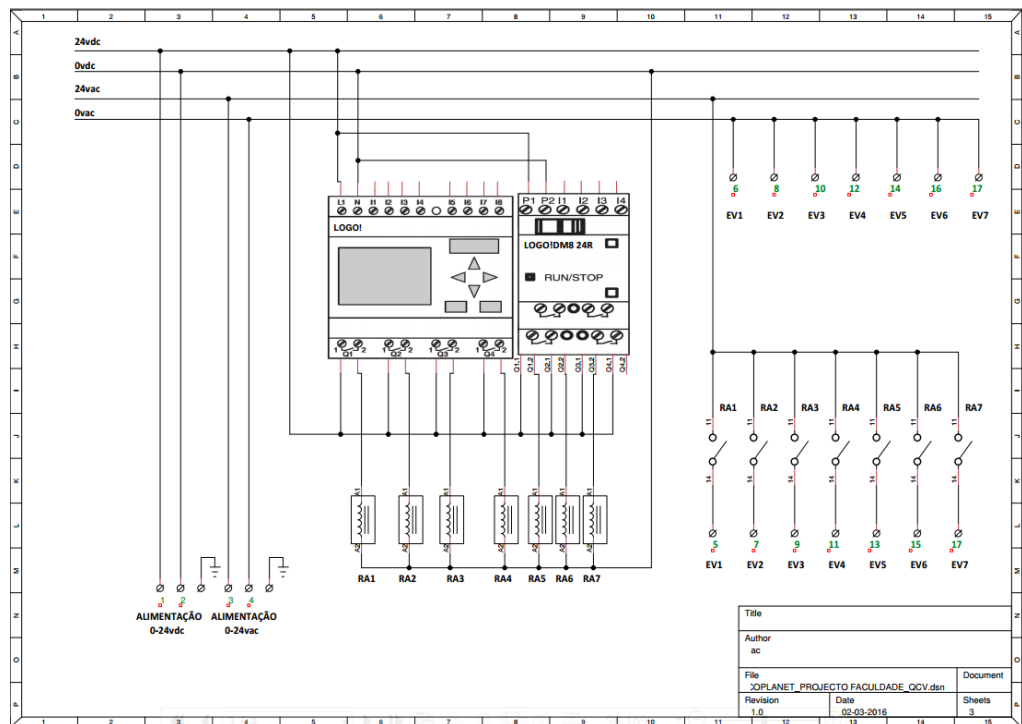


Figura 38:Alimentação do autómato e válvulas





Figura 40:Ligação do quadro elétrico principal

### Esquema elétrico do quadro principal

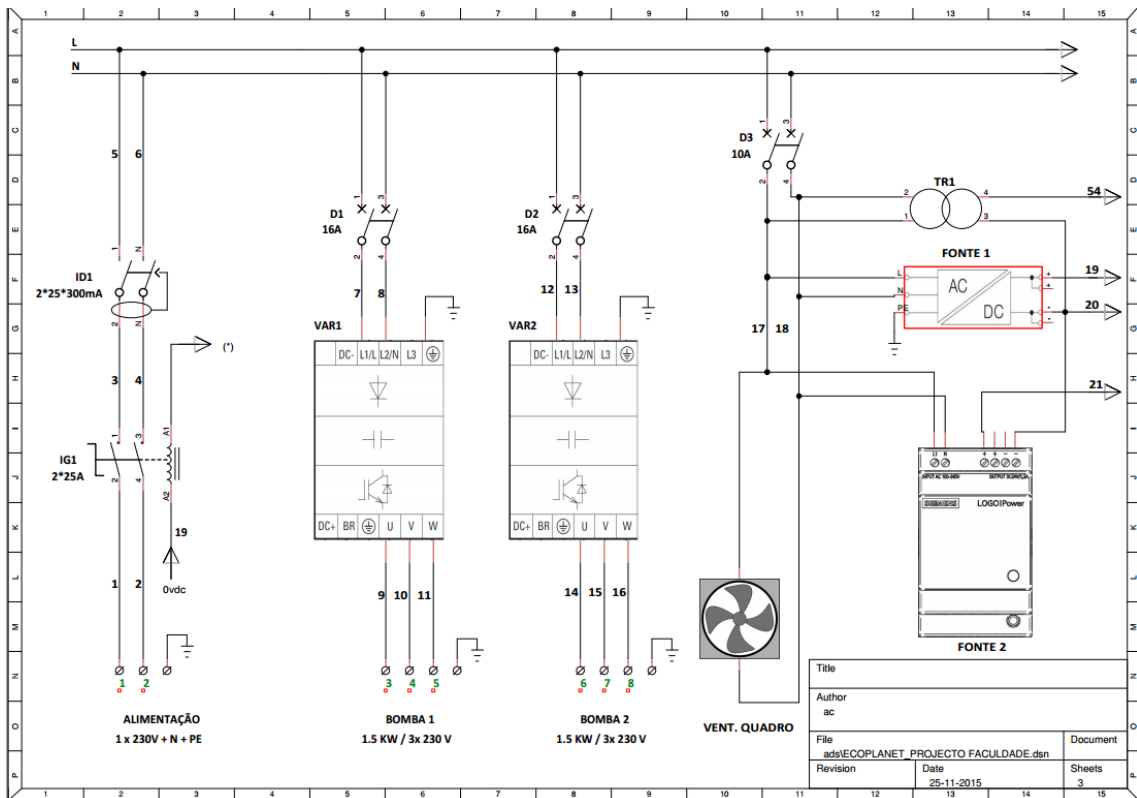


Figura 41:Alimentação/bomba 1/ bomba 2/ ventilação quadro

### Esquema de ligação da betoneira de emergência

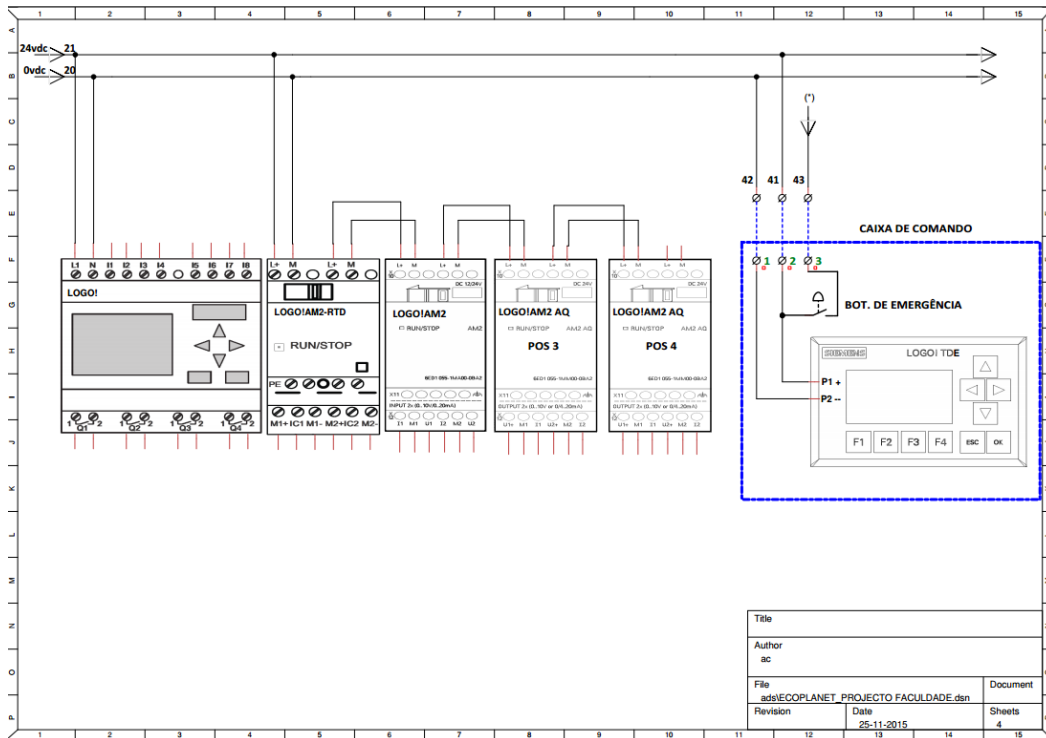


Figura 42: Betoneira de emergência

### Esquema alimentação e avaria da bomba 1/2

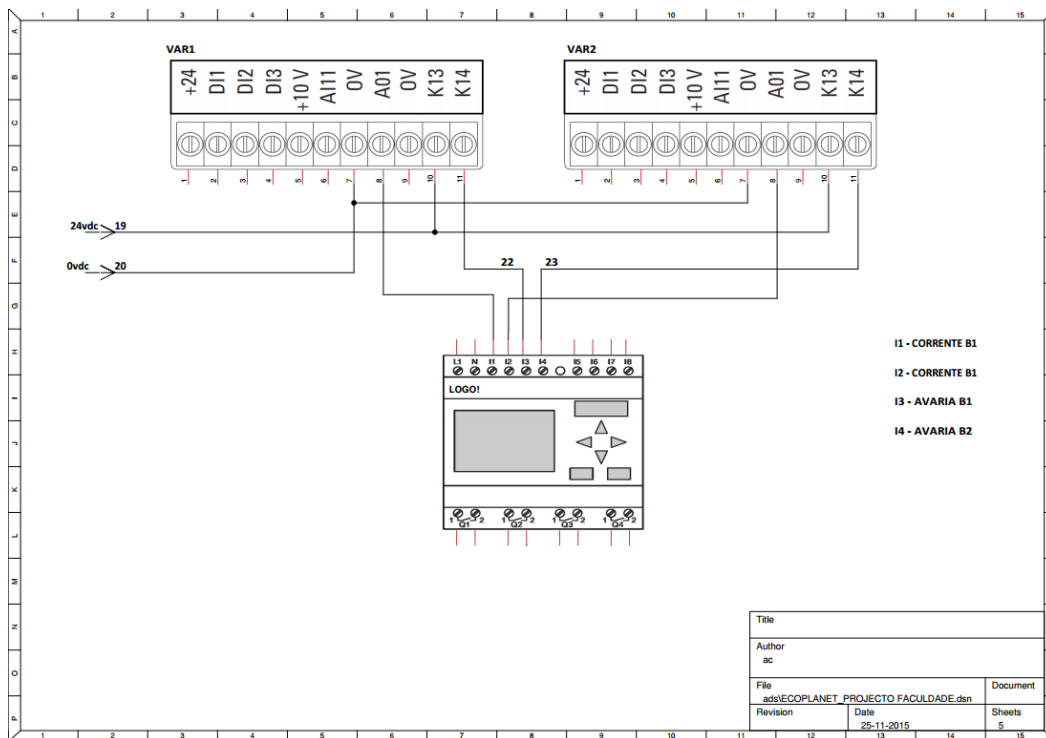


Figura 43: Alimentação Bomba 1/bomba 2/ avaria b1 e b2

### Esquema de ligações das bombas 1/2

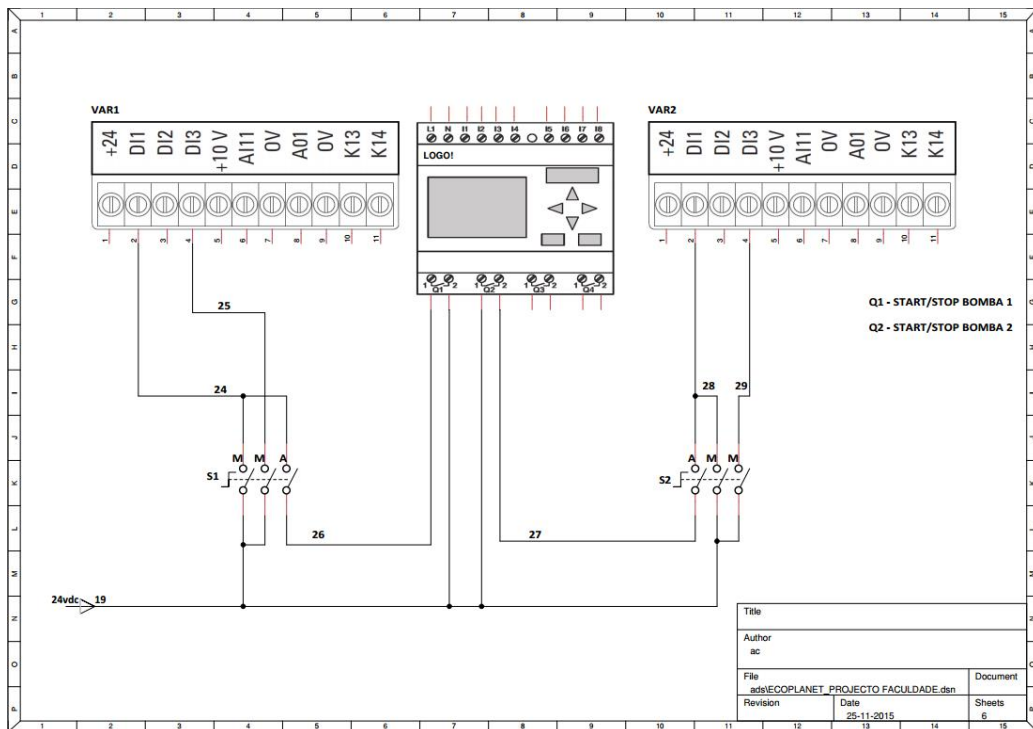


Figura 44:Start/Stop das bombas 1/2

### Esquema de ligações dos sensores de pressão

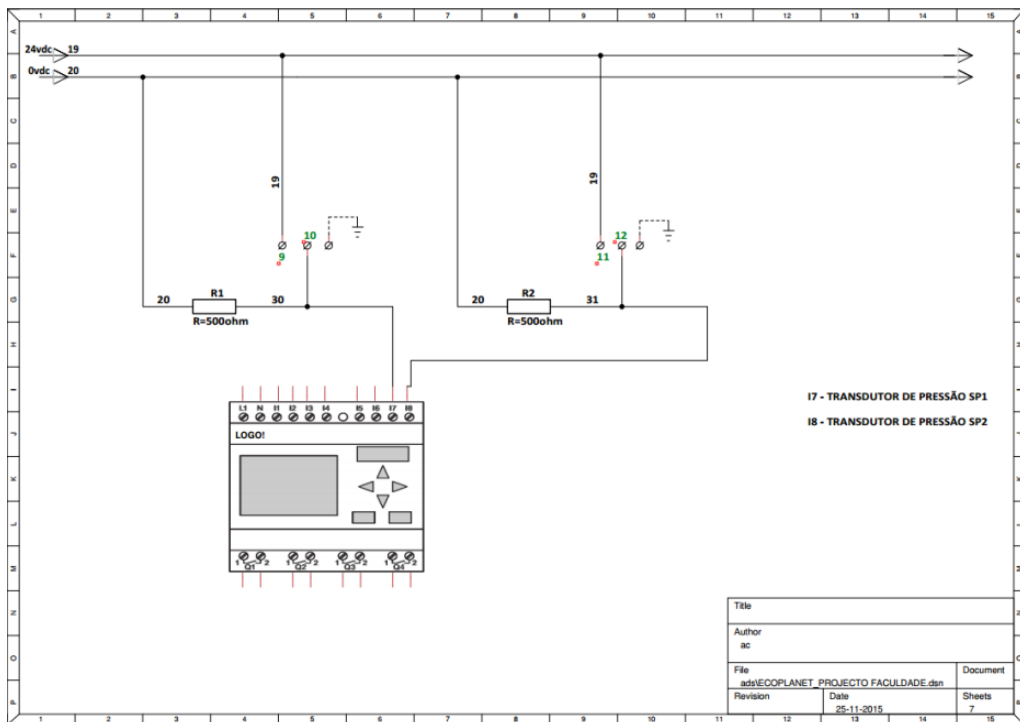


Figura 45:Sensores de pressão 1/2

**Esquema de ligação das sondas de temperatura e caudalímetros**

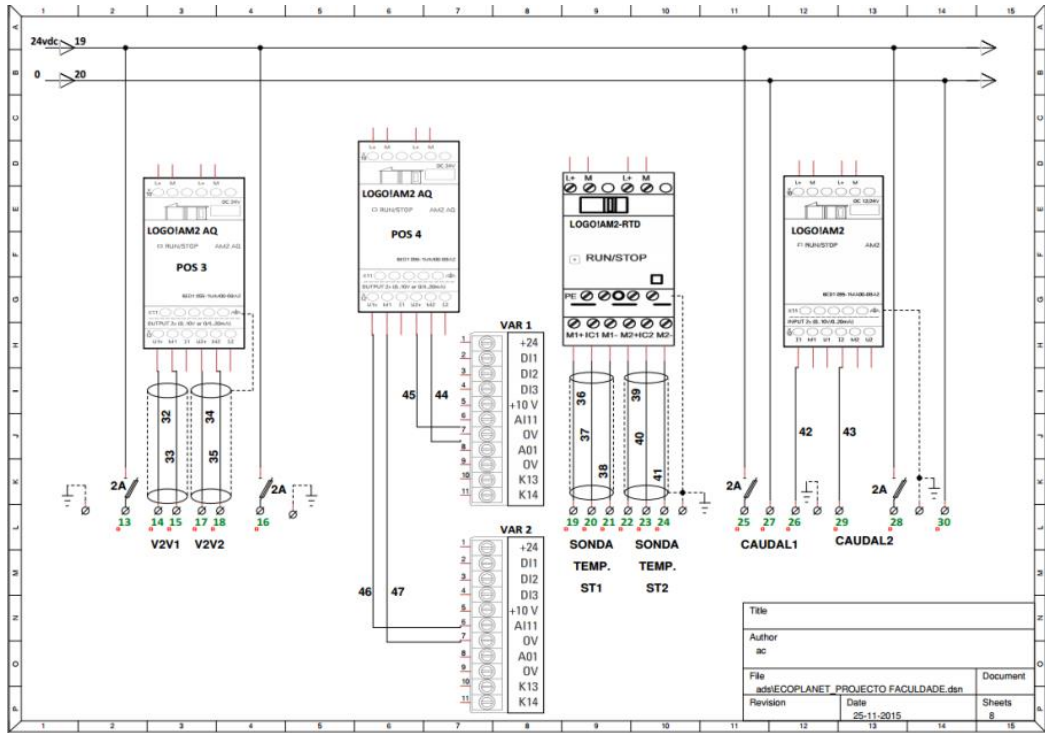


Figura 46:Ligação das cartas do autómato

**Esquema de ligação dos fim-de-curso**

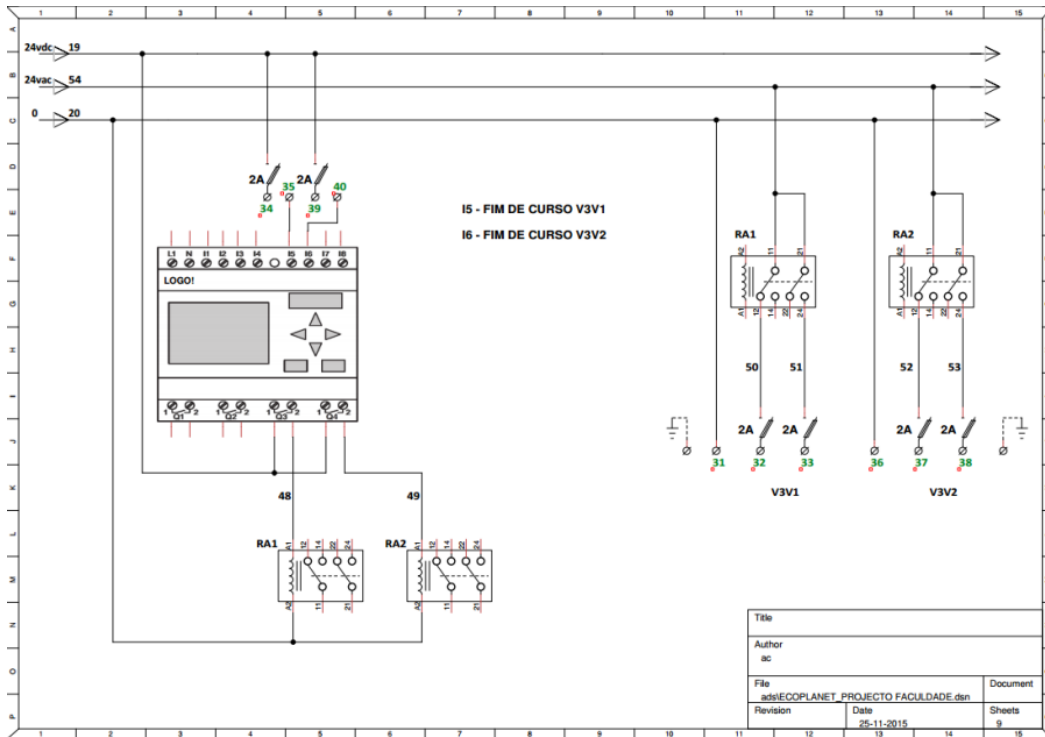


Figura 47:Ligações dos fim-de-curso

## Esquema de ligação da régua de bornes

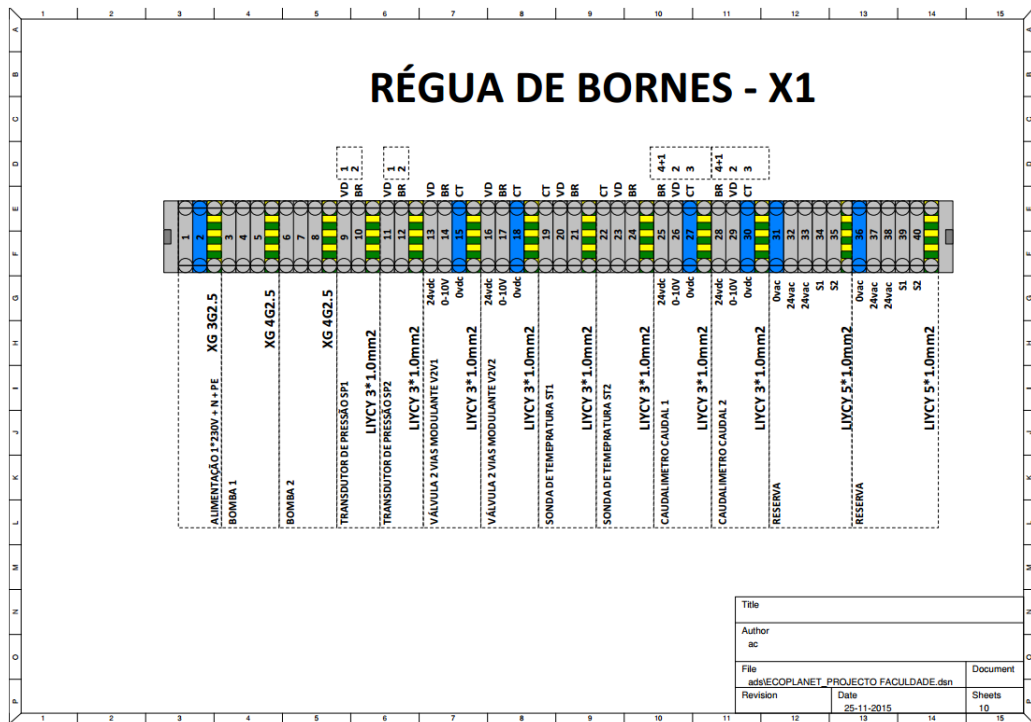


Figura 48:Ligação da régua de bornes

### 4.4 Programação componentes

#### Consola do *Data logger*

Tal como a consola táctil, este dispositivo é um dos responsáveis por dar as ordens de arranque às bombas. O mesmo também permite que o circuito seja realizado em série ou paralelo.

Existem várias formas de visualizar as ordens efetuadas. Uma das formas é através da própria consola do *data logger*. Outra, é através do computador portátil por ligação USB. A terceira alternativa é através da consola táctil. Assim consegue-se redundância de informação e controlo de todas as operações da bancada de ensaios.

Outra das possibilidades que o *data logger* permite, é a recolha e envio de dados de funcionamento da bancada. Dessa forma, é possível passar toda a informação para o Excel e analisar os dados nas tabelas ou através de gráficos.

A caixa de suporte ao *data logger*, tem na parte lateral a betoneira de emergência. Inicialmente estava colocada na parte superior. Contudo, de forma a permitir um acesso mais rápido em caso de emergência, a mesma foi mudada de local.



Figura 49: 1 Data logger

## Esquema de programação do Data logger

### Diagrama de blocos do arranque

O diagrama de blocos abaixo foi elaborado através do software “*Logo! Soft Comfort*”. Este programa é o responsável por efetuar o arranque das bombas hidráulicas, válvulas de 2 vias, sondas de temperatura e sondas de pressão

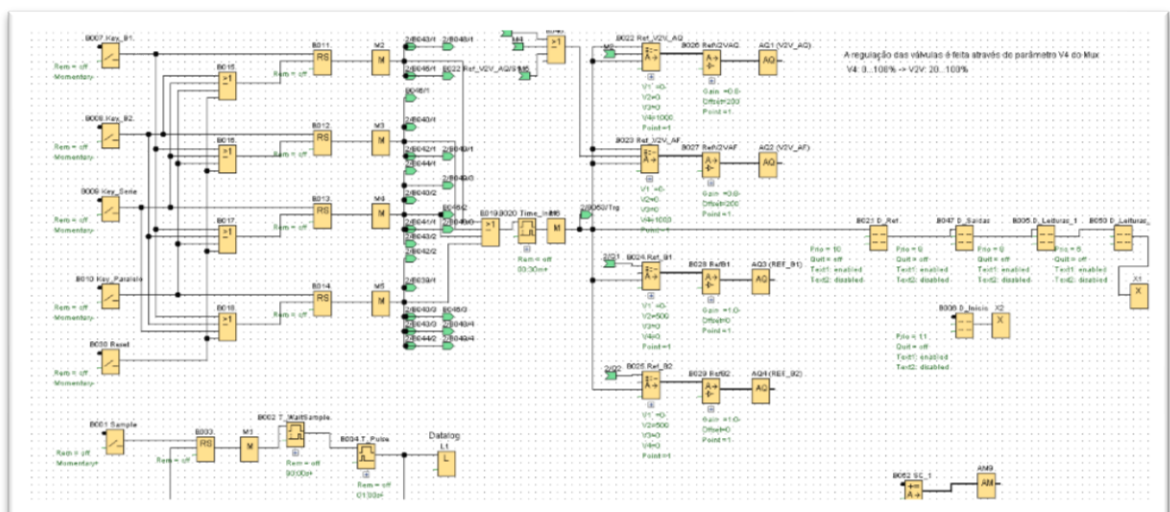


Figura 50:Ordens de arranque a partir do Data logger

### Diagrama de blocos on/off

O diagrama de blocos seguinte é o responsável pela função de dar ordem “on/off” as válvulas direcionais. São estas válvulas que irão permitir efetuar os ensaios à bomba 1, bomba 2, como também permitem realizar os ensaios em série ou paralelo.

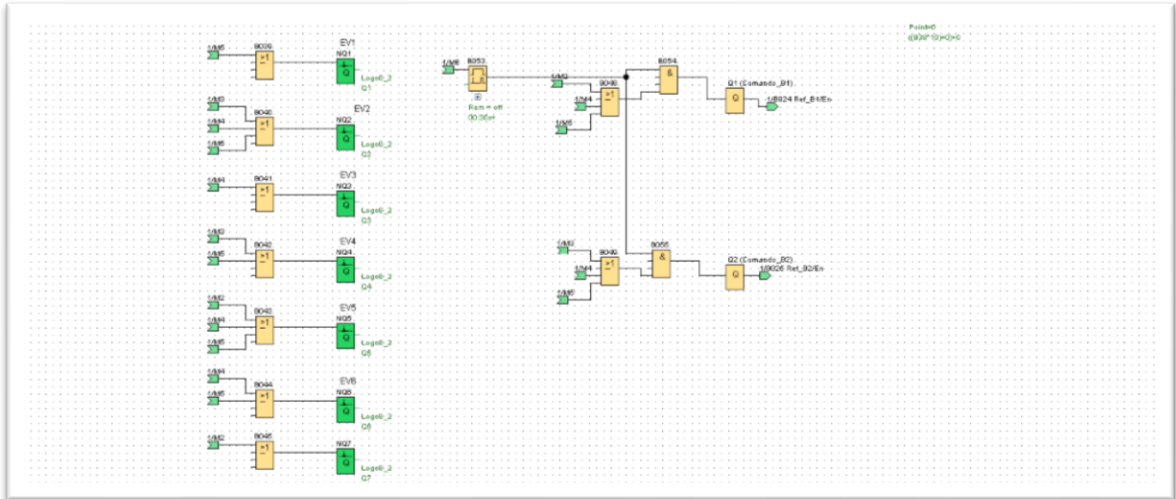


Figura 51:Ordem on/off

### Diagrama de blocos da recolha de dados

O diagrama de blocos abaixo é o responsável por recolher os dados dos ensaios pedidos pelo utilizador.

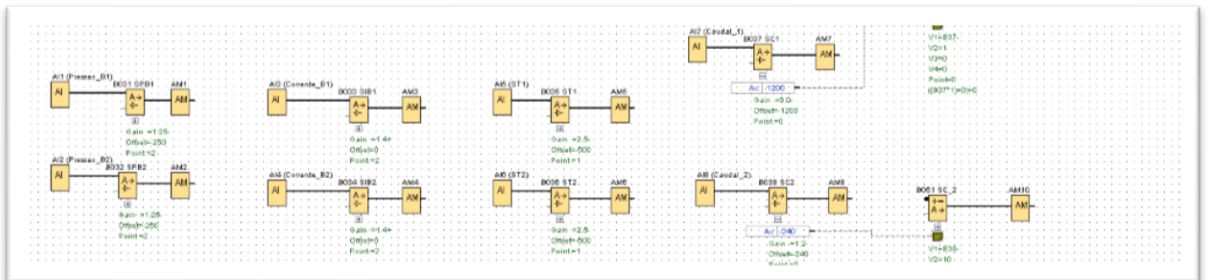


Figura 52:Recolha de dados dos ensaios

**Layout de todo o automatismo da bancada de testes**

**Tabela 3:Funcionamento B1**

Funcionamento da Bomba 1	
Fecha	Abre
V2V.AF	V2V.AQ
V1	V5
V2	V7
V4	C1
V6	S1;S2
V3	

**Tabela 4:Funcionamento B2**

Funcionamento da Bomba 2	
Fecha	Abre
V2V.AF	V2V.AQ
V1	V5
V2	V7
V4	C1
V6	S1;S2
V3	

**Tabela 5:Funcionamento série**

Funcionamento em série	
Fecha	Abre
V2V.AQ	V2V.AF
V1	V2
V4	V3
V7	V5
S1;S2	V6
C1	

Tabela 6:Funcionamento paralelo

Funcionamento em paralelo	
Fecha	Abre
V2V.AQ	V2V.AQ
V3	V1
V7	V2
C2	V4
	V5
	V6
	S1;S2
	C1

Acrónimos
V2V.AF=Válvula de 2 vias de água fria
V2V.AQ=Válvula de 2 vias de água quente
S1;S2= Sensor de temperatura
C1;C2= Caudalímetro
V1....V7=Válvula reguladoras de fluxo

Figura 53:Designação dos acrónimos

#### 4.5 Configurações e programação HMI táctil

Este equipamento foi especialmente desenhado para a engenharia de máquinas. Com ecrã com mais de 64000 cores e uma interface de usuário relativamente complexa, mas extremamente flexível, esta consola permite realizar projetos onde a criatividade é o limite, quer seja com o ecrã na horizontal ou na vertical.

Embora tenha um ecrã táctil, esta consola também tem oito botões digitais de funções. Estes botões fora do ecrã aumentam ainda mais a versatilidade da consola permitindo a adição funções de rápido acesso.

Tem ainda incorporada uma entrada USB, permitindo a sua ligação a um teclado, rato ou até mesmo de uma pen drive.

Por todas as suas características técnicas e flexibilidade, esta consola foi a escolha ideal para as funções projetadas para esta bancada de testes [9].

**Tabela 7: Dados técnicos básicos**

<b>Dados técnicos básicos</b>	
<b>Ecrã</b>	
tipo de display	TFT, Tactil com retroiluminação LED
diagonal do ecrã	7 polegadas
número de cores	65536
Resolução	800x480
Número de teclas de função	8
<b>processador</b>	
tipo de processador	ARM
<b>Ethernet</b>	
Protocolos	TCP/IP; DHCP; SNMP; DCP; LLDP.

A consola táctil e a interface desenvolvida permite uma interação amigável com o utilizador. A interface permite apresentar gráficos para uma melhor análise das curvas características e também permite interagir com imagens representativas do layout da bancada, tornando toda a utilização mais intuitiva.

## 4.6 Programação das consolas

### Introdução ao LOGO!8

Este programa é o responsável por endereçar as bombas e sensores como também é o responsável por toda a interface com o utilizador. Com ele é possível verificar os valores reais para:

- Os níveis de caudal;
- A temperatura do fluido;
- Verificar o seu status atual;

A interface será realizada na consola com ecrã táctil. Dessa forma, o programa permite:

- Ativar e desativar as bombas;
- Abrir e fechar válvulas;
- Alterar velocidade do circuito;
- Alterar circuitos série e paralelo;
- Modificar a temperatura.

### Introdução ao WinCC Basic

O WinCC é essencialmente uma ferramenta de engenharia, que é utilizado para a configuração de painéis SIMATIC<sup>15</sup>. Este software é extremamente versátil, dessa forma também pode ser usado para configurar computadores industriais ou o sistema *SCADA WinCCRuntime software de visualização profissional*.

Existem atualmente quatro (4) edições diferentes do WinCC em que as suas funções variam consoante as necessidades do utilizador:

- Para configurar painéis básicos;
- Para configuração de painéis no geral;
- Para configuração de todos os painéis e PC,s;
- Além das funções anteriores, também permite a configuração do sistema SCADA.

---

<sup>15</sup> É o sistema baseado na tecnologia do Windows Server e server 2003/XP. Este é líder mundial de automação e abrange inúmeros produtos normalizados.

---

## **SCADA**

O sistema SCADA tem uma complexidade considerável, por esse motivo, o corpo funcional do SIMANTIC WinCC compreende tarefas de visualização próximas à máquina. Isso permite-lhe executar processos de maior complexidade, aplicações com arquitetura redundante, integração vertical usada em SCADA.

Este sistema é ainda capaz de visualizar processos, e inúmeras funções de alto desempenho de forma a monitorizar processos automatizados.

### **Ligação com autómato**

Para a configuração inicial do aparelho foi necessário configurar o *LOGO!* OBA8 com o programa *LOGO! Soft Comfort V8* e configurá-lo como um dispositivo base.

O passo seguinte passou por configurar e criar uma ligação Ethernet entre o *LOGO! 8* e o ecrã tátil. Para essa tarefa foi necessário atribuir um endereço de IP para os dois, de forma a conseguir identificar o dispositivo na rede. E como não poderia faltar, foi necessário definir também a máscara de sub-rede.

Este é outro parâmetro na configuração do protocolo TCP/IP que acompanha a classe do endereço de IP e serve para se conseguir perceber qual o número de hosts<sup>16</sup> e número de sub-redes que podemos ter.

Após a criação da ligação, é necessária uma configuração das propriedades do servidor, como também definir que dados serão disponibilizados para o HMI. Por isso, é necessário configurar as variáveis de comunicação na rede.

Para conseguir a implementação de um circuito de duas vias, de forma a ligar e desligar as bombas, existe a necessidade de alterar o programa do autómato. Por esse motivo, de modo a ter uma capacidade de ligação das bombas a funcionar pelas duas consolas, deve ser efetuado um paralelo pelas duas entradas.

Após todas as configurações, é necessário transferir o ficheiro com as configurações para os dispositivos (autómato e HMI).

---

<sup>16</sup> Significa hospedeiro. É um termo utilizado para identificar qualquer máquina ligada a uma rede e que é capaz de interação com outros equipamentos, quer seja a fornecer recursos, informações, serviços ou aplicações.

## Definições e configuração em WinCC

O passo seguinte é configurar o ecrã tátil para as funções pretendidas.

No *WinCC Basic* começou-se por criar um novo projeto e selecionar o nosso ecrã na lista de dispositivos e realizar a conexão.

Para a conexão ser realizada com sucesso é necessário aceder ao menu “*Connections*”. Neste menu, além de adicionar uma nova conexão, é também necessário atribuir o respetivo nome e inserir o respetivo endereço de IP do dispositivo HMI.

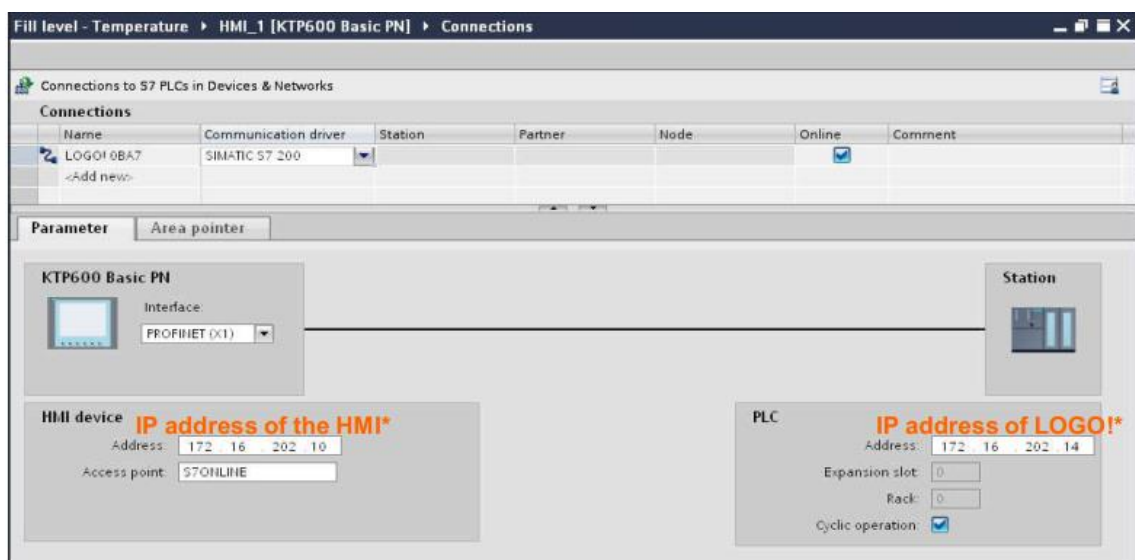


Figura 54: Endereçamento

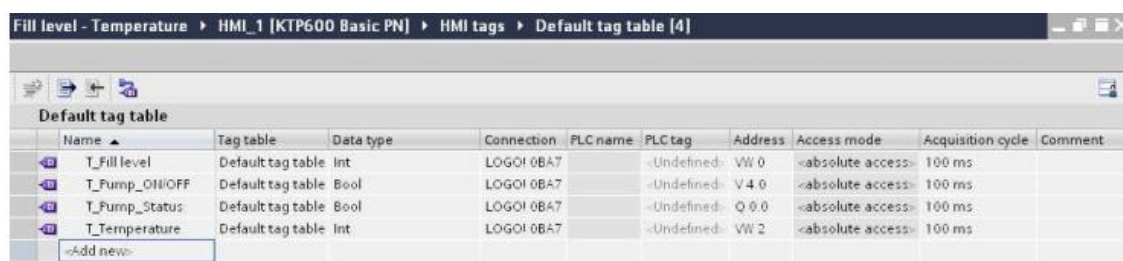
## Criação de Tags

Quer sejam entradas ou saídas de informação ou até mesmo variáveis, para que essa ação seja realizada, é necessária a criação de “*Tags*”. Essas etiquetas não são mais do que um conjunto de nomes de forma a criar as tarefas desejadas. Esses nomes vão ser atribuídos as entradas, saídas e variáveis de forma a que seja especificado o tipo de acesso. Cada uma das tarefas programadas será atribuída a essa tag. O nosso dispositivo tem acesso à escrita e leitura dos seguintes tipos de dados:

**Tabela 8: Acesso de dados do dispositivo HMI**

	<b>Leitura</b>	<b>Escrita</b>
<b>Entradas (Inputs)</b>	Sim	<b>Não</b>
<b>Saídas (Outputs)</b>	Sim	Sim
<b>Alertas (Flags<sup>17</sup>)</b>	Sim	<b>Não</b>
<b>Variáveis</b>	Sim	Sim

Para a criação de *tags* é necessário aceder ao menu “HMI tags” e adicionar as respetivas *tags* e as suas propriedades. A funcionalidade de cada uma das *tags* pode ser simulada clicando no menu “Online”, “Simulation” escolher a opção “Withtag simulador”.



**Figura 55: Tags**

## 4.7 Criação da interface como utilizador

Após a configuração de todas as *tags* é a vez de se configurar toda a parte gráfica do ecrã. Esta parte é a que vai estar mais ligada com o utilizador e por esse motivo é aqui que deve ter-se o maior cuidado de conseguir passar uma informação o mais intuitiva possível.

A configuração é feita no menu “Screen” do projeto em questão. Porque as *tags* já foram criadas, é gerada automaticamente uma tela de navegação. Esta serve como ponto de partida para a criação da interface com o utilizador, bastando para isso modificar a tela inicial e adicionar novas funções consoante as necessidades do projeto.

A criação de um novo ecrã pode ser realizada inserindo inicialmente o botão que vai abrir essa tela. A colocação de botões é intuitiva bastando usar a barra lateral para arrastar o botão para a tela. Aí poderemos alterar o nome do botão e o seu especto.

<sup>17</sup> É um mecanismo que serve para controlar a logica dos programas dando permissões ou interrompendo a execução de comandos.

De seguida é necessário atribuir uma tarefa ao respetivo botão. O programa disponibiliza inúmeras opções de ações para os botões, bastando para isso selecionar a ação pretendida numa lista.

### **Configuração dos tempos de execução**

É possível configurar o tempo de execução de cada uma das tarefas atribuídas. Esta opção é particularmente útil para uma personalização de cada um dos sensores ou equipamentos conectados.

Ao desligar o sistema, essa mesma válvula modulante irá continuar ativa pelo menos durante 90 segundos de forma a que a válvula possa fechar.

Para que a configuração de tempos seja possível, é necessário ir ao menu “*Runtimesettings*” e realizar as configurações pretendidas. Este menu também pode ser usado para configurar o tempo que o alarme vai tocar ou o tempo que a mensagem de aviso vai ficar no ecrã.

### **Realização de testes à configuração**

Para ter a certeza de que tudo funciona, o software permite realizar testes sem ter a necessidade de ligar o ecrã táctil. Para isso foi criado um simulador que, no próprio ecrã do computador permite simular cada uma das ações e testar as comunicações.

As simulações são realizadas no menu “*Startsimulation*”. Outra alternativa é realizar a simulação online. Para isso é necessário ir ao menu “*Online*”, “*Simulation*” e clicar em “*Start*” para iniciar a simulação.

O equipamento permite um estudo teórico/prático das referidas bombas hidráulicas, como também permite observar o seu funcionamento.

Um dado relevante neste equipamento, é a vantagem de ser permitido testar uma ou duas bombas em simultâneo. Esta flexibilidade, oferece o acesso a um estudo mais completo deste tipo de equipamentos.

A gama de estudos não estaria completa se não fosse permitido observar os comportamentos das bombas quando a trabalhar em série ou paralelo, de forma a permitir equiparar o seu funcionamento a sistemas redundantes.

O equipamento desenvolvido está de acordo com a legislação nacional em vigor, referente ao nível de consumos, ergonomia e segurança, na bancada Hidro TID foram aplicadas melhorias ao longo do projeto nos aspetos anteriormente referidos.

Na consola da Hidro TID é possível observar toda a informação através de um ecrã com a dimensão de 7 polegadas. O mesmo permite a interação com a máquina de uma forma gráfica, simples e intuitiva. Aqui, os vários sensores digitais vão fazer a comunicação com a máquina e o utilizador tem a possibilidade de fazer a observação através do ecrã, como também fazer alteração de parâmetros a partir do mesmo equipamento.

A Hidro TID permite fazer testes à performance das bombas, são simulados esforços e comparados os seus rendimentos com os dados fornecidos pelo fabricante. Desta forma é possível comparar as curvas características das bombas com o seu desempenho real.

No projeto desenvolvido foram criados diversos menus na consola de forma a criar um ambiente mais interativo. No total foram criadas 14 telas de navegação. De forma a perceber se todos eles estavam conforme o pretendido foram realizados testes ao seu funcionamento e à sua interação com a bancada.

A apresentação dos diferentes menus servirá também o propósito de demonstrar neste documento os diferentes testes realizados à bancada.

Na imagem seguinte é apresentado o menu inicial. Neste menu é possível escolher o sub-menu “visualização”, “Parâmetros/ Leitura”, ou o menu “Gráficos”.

De forma a tentar eliminar qualquer dúvida que possa surgir aos utilizadores, foi criado o menu “Ajuda”. Essa ajuda estará sempre presente pelas diferentes páginas de navegação.

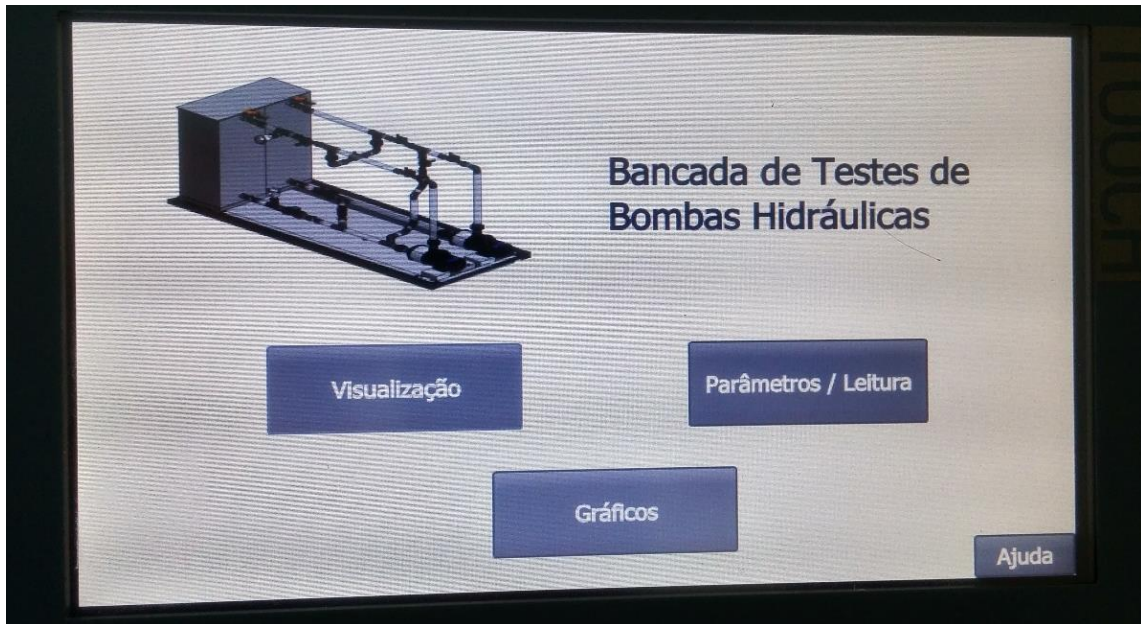


Figura 56: Menu inicial

No sub-menu “Visualização” é apresentado um modelo da bancada e os respetivos componentes. Além da sinalização do estado de cada sensor, também é possível ainda observar em tempo real as leituras de cada um deles. Este menu permite ainda escolher entre os diferentes tipos de teste, e verificar:

- Funcionamento da Bomba 1;
- Funcionamento da Bomba 2;
- Funcionamento do circuito em serie;
- Funcionamento do circuito em paralelo.

Tal como o menu anterior, este menu oferece também um botão de ajuda de forma a auxiliar o utilizador em dúvidas que possam existir.

Por fim, também foi criado um botão de “Desligar” de forma a terminar os testes às bombas.

Nesta imagem é ainda possível observar uns círculos vermelhos. Estes referem-se a pontos chave no circuito e indicam quais os sensores e circuito está em funcionamento. Caso as bombas não estejam em funcionamento, a sua cor é vermelha. Caso as bombas estejam a trabalhar, a sua cor muda para verde.

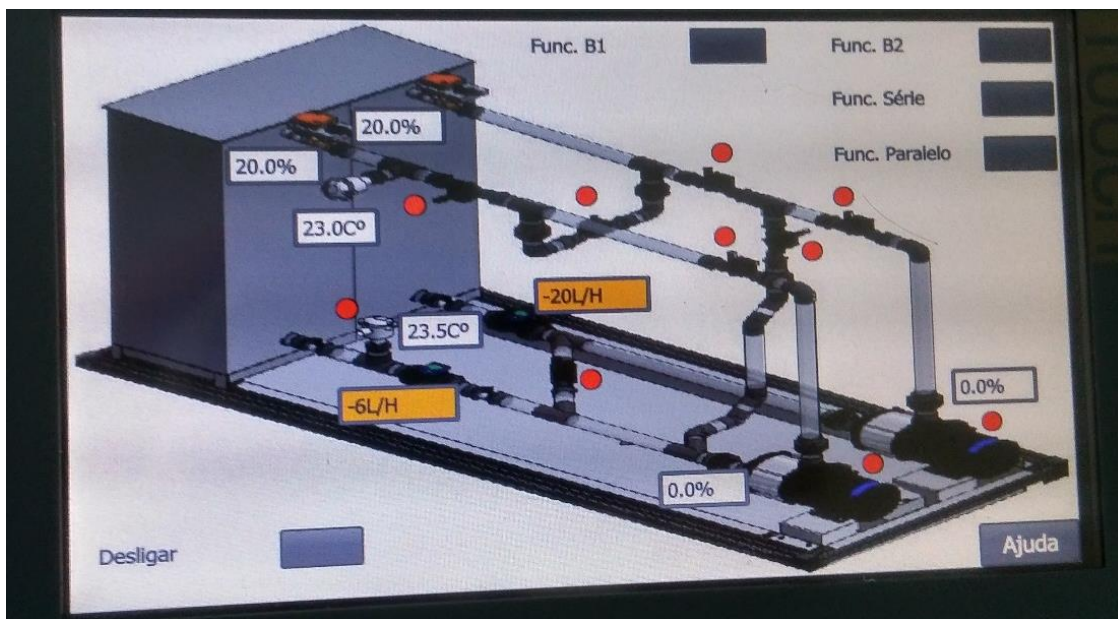


Figura 57: Menu de visualização e seleção

Na imagem seguinte é possível observar o funcionamento do circuito da bomba 1. Nota-se também que os sensores estão ativos visto que a cor do círculo mudou de vermelho para verde.

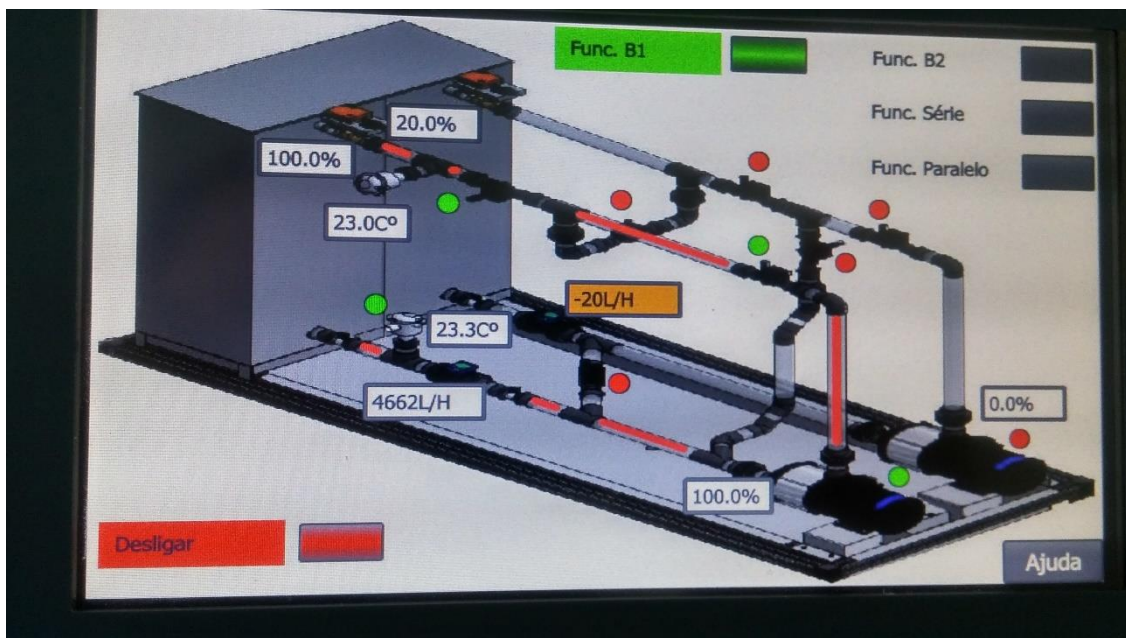


Figura 58: Funcionamento bomba 1

Na imagem que se segue é apresentado o funcionamento da bomba2. É possível observar também que quando o circuito está ativo, o botão desligar também fica ativo mudando a sua cor para vermelho.

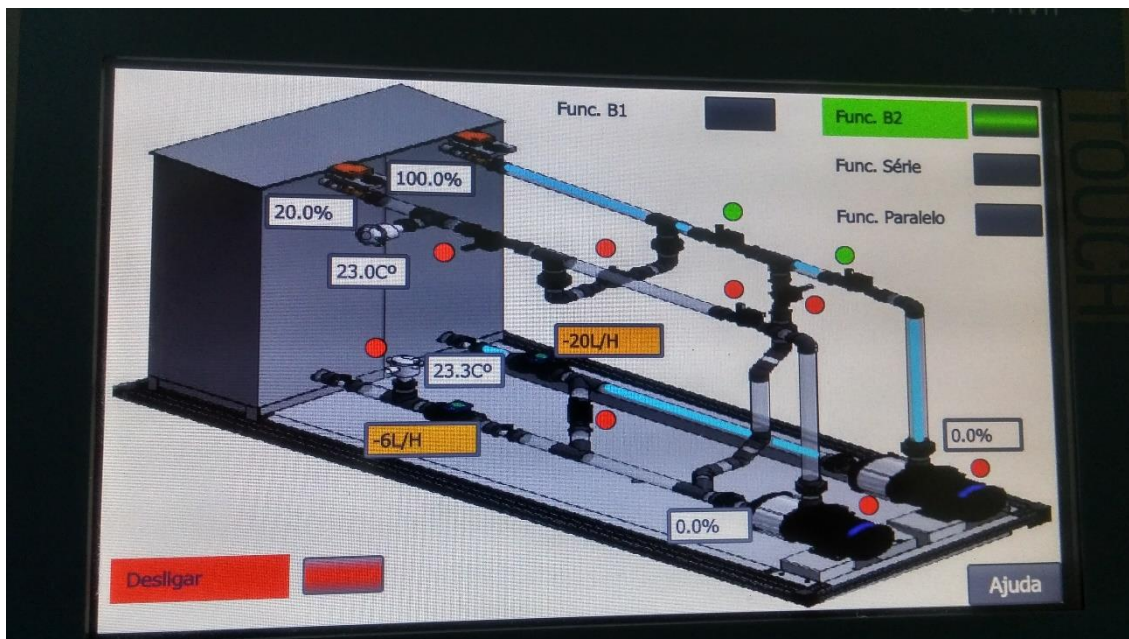


Figura 59: Funcionamento bomba 2

Na imagem seguinte é apresentado o funcionamento em serie. Os círculos verdes indicam os sensores que estão ativos. Dessa forma é possível perceber como funciona o circuito.

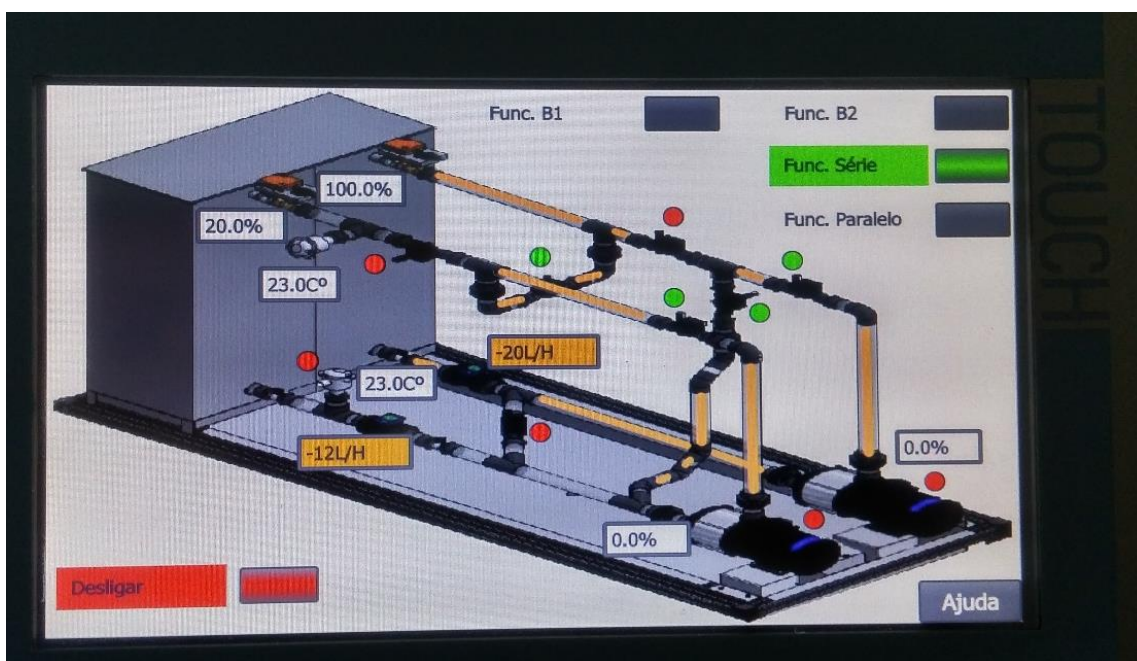


Figura 60: Funcionamento Serie

A imagem seguinte representa o circuito em paralelo. De forma a identificar melhor o percurso do fluido, o mesmo fica assinalado a verde.

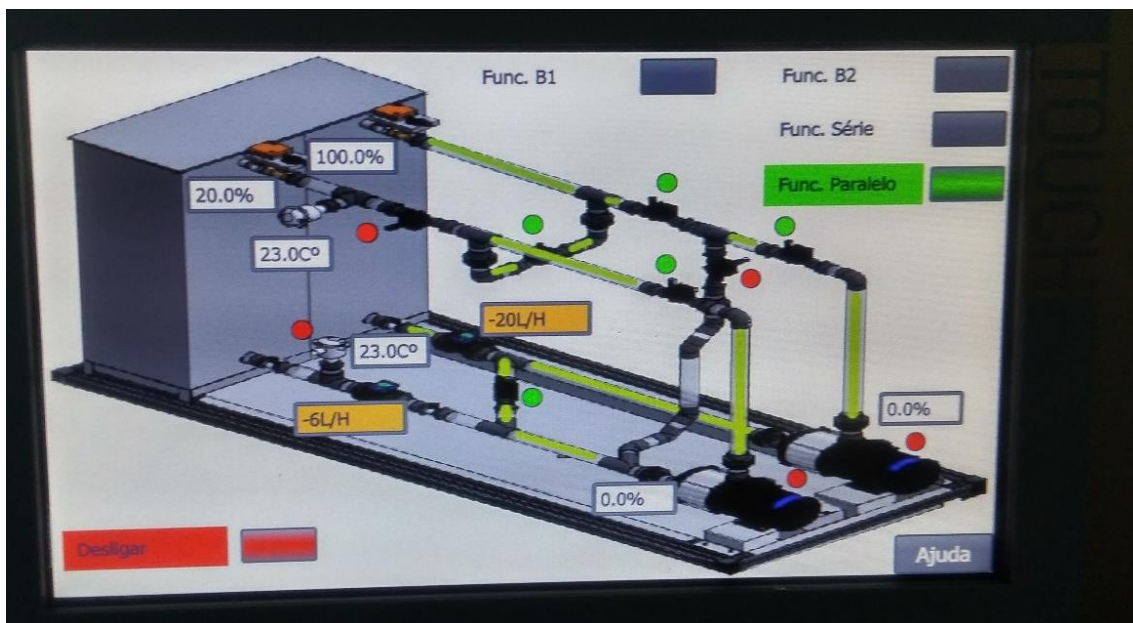


Figura 61: Funcionamento paralelo

A imagem que se segue representa o ecrã de ajuda do menu visualização.

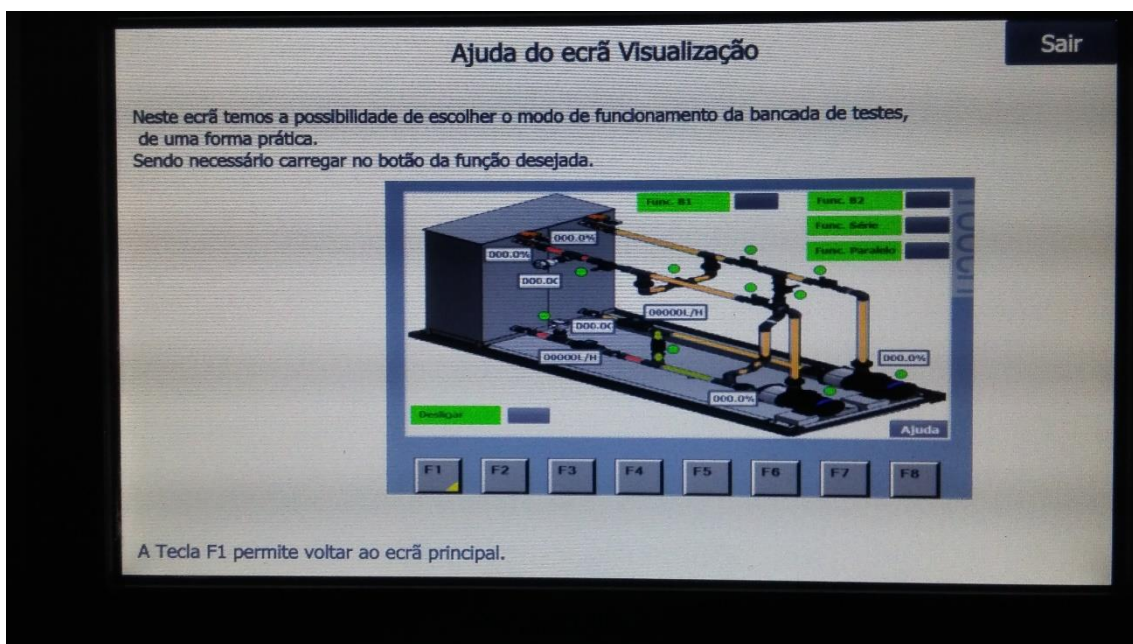


Figura 62: Ajuda ecrã Visualizações

A imagem que se segue representa a ajuda do ecrã principal. Este explica as funções de cada sub-menu.

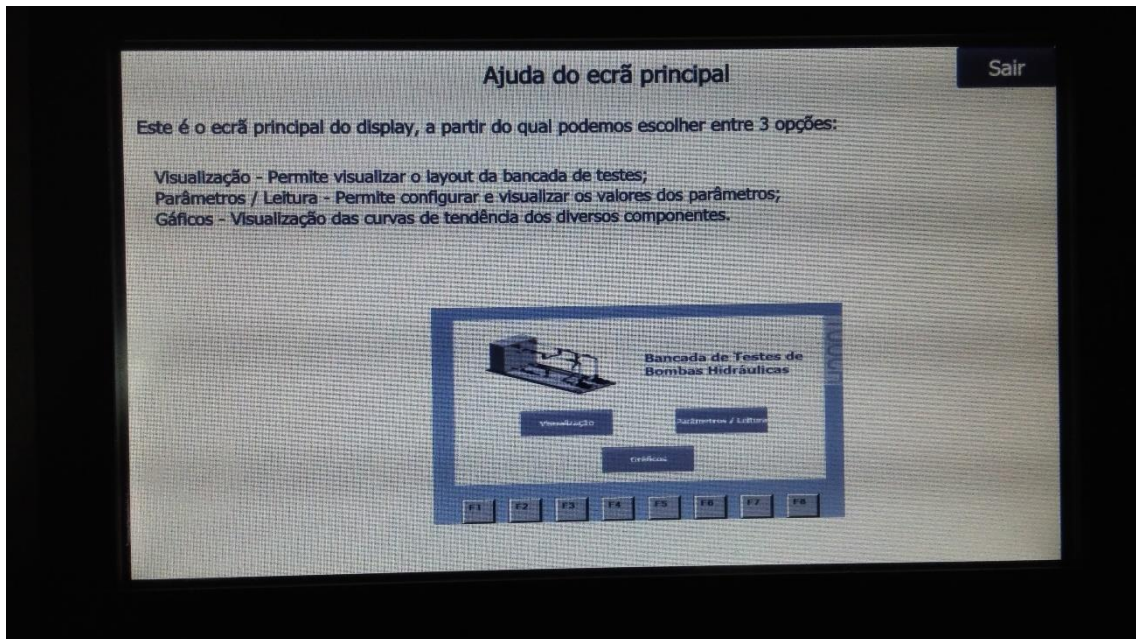


Figura 63: Ajuda ecrã principal

Nesta imagem é possível observar a ajuda do menu “Parâmetros/ Leitura”.

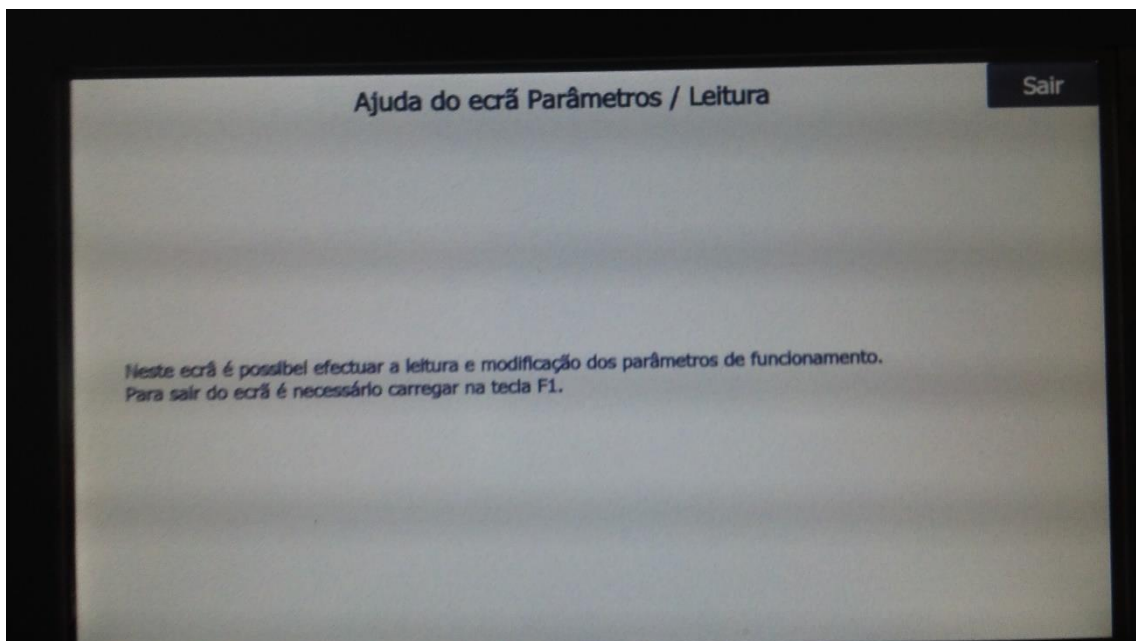


Figura 64: Ajuda do ecrã Parâmetros

A imagem seguinte representa a página de ajuda do ecrã dos gráficos. Dessa forma o utilizador fica a conhecer como poderá alternar entre os diferentes gráficos.

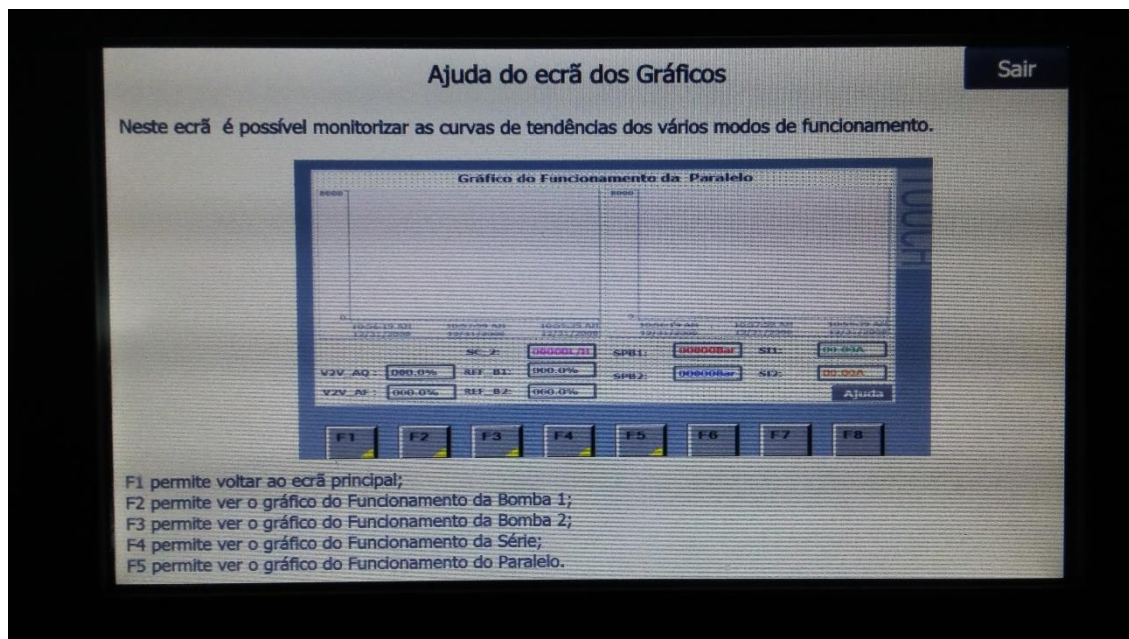


Figura 65: Ajuda Gráficos

Esta imagem refere-se ao menu “Parâmetros” À direita é possível realizar a leitura da totalidade dos sensores enquanto que à esquerda é possível modificar a percentagem de abertura das válvulas como também a frequência de cada um dos motores.

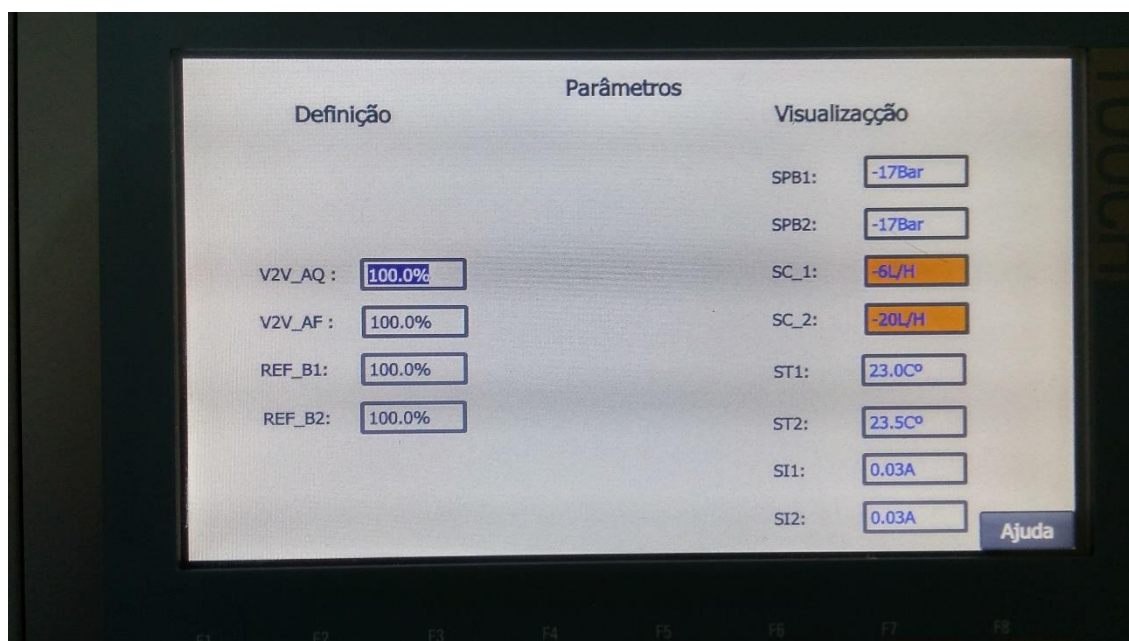


Figura 66: Menu Parâmetros

No menu “Gráficos” conseguimos observar na forma de um gráfico o funcionamento da bomba 1, o seu caudal e o seu consumo energético.

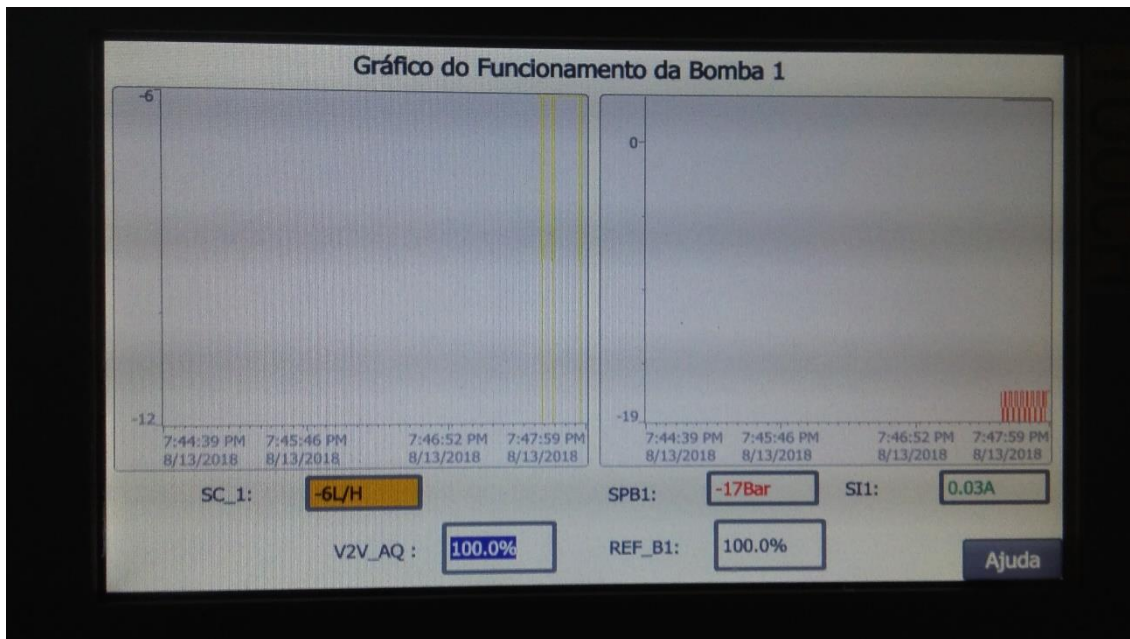


Figura 67: Gráfico do funcionamento da bomba

Nesta imagem é possível observar em detalhe o gráfico da bomba 1.

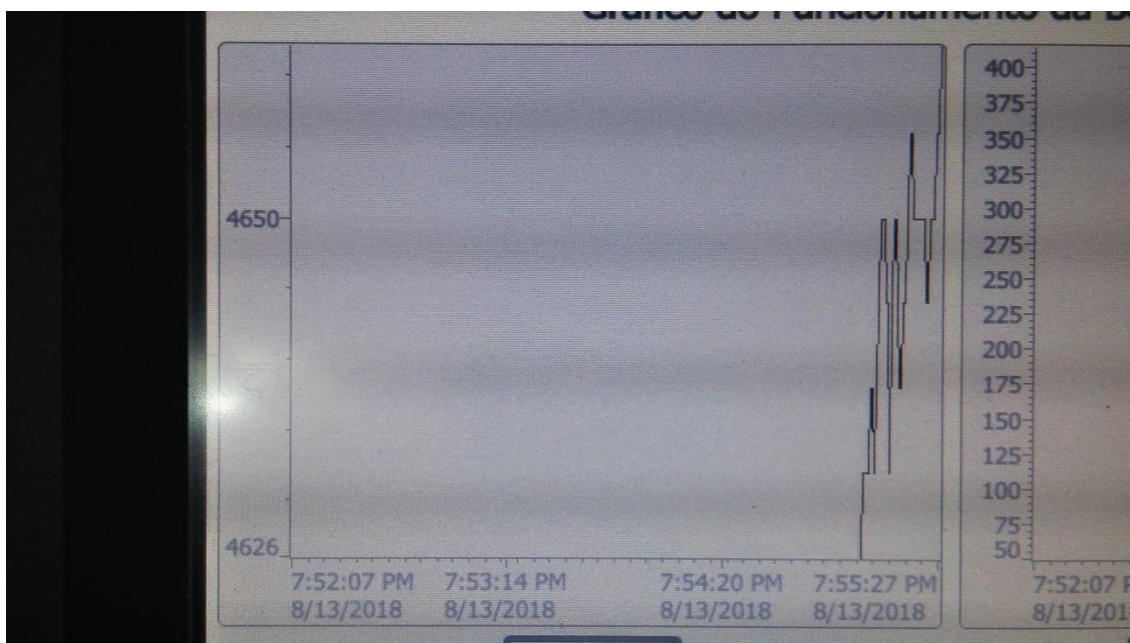


Figura 68: Leituras gráfico

## 5 Segurança e Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é estritamente essencial. É com a manutenção que a bancada e todos os seus componentes terão uma operacionalidade e durabilidade exponencialmente mais elevada. Esta permite prevenir problemas de desgaste nos componentes, como também com a própria estrutura.

Após as visitas efetuadas aos laboratórios das várias instituições de ensino e à empresa construtora deste tipo de bancada de ensaios, foi possível constatar que uma manutenção trimestral é suficiente para garantir a durabilidade da bancada.

No caso da bancada desenvolvida, na sua manutenção foi adicionado ao depósito:

- 20dcl/1000 l de hipoclorito;

Foi adicionado semanalmente durante a altura que esteve em utilização.

- 10 dcl/anticalcário;

Não necessita de renovação. A adição do produto só é realizada novamente, em caso de substituição da água.

Estes produtos permitem aumentar a durabilidade dos materiais. Principalmente das bombas hidráulicas e todo o material de abertura e fecho automático. Com este protetor, os componentes terão uma proteção ainda mais alargada podendo ser realizadas manutenções com uma periodicidade de 6 meses.

### Segurança







Numa manutenção, é sempre necessário o acompanhamento de material de segurança. Para garantir a segurança em ações de manutenção, são necessários os seguintes equipamentos:

- Óculos de proteção na descarga completa dos depósitos e tubagens;
- Luvas descartáveis para o manuseamento de todos componentes;
- Batas que protejam os intervenientes contra a sujidade e o próprio líquido, aquando da manutenção;

Falta ainda referir que a primeira medida de segurança a ter em conta na manutenção da bancada de ensaios é desligá-la da corrente elétrica.

Outra das medidas de segurança foi colocar toda a sinalética referente a sinalização visual na bancada de trabalho, conforme a autoridade para as condições de segurança no trabalho [4].

Tabela 9:Normas de segurança

Manutenção	Não tocar	Superfície quente
		
		
		

## 6 Estudos Teóricos

### Cálculos de potência do motor

Para conhecer a potência fornecida pelo motor aplica-se a seguinte equação:

$$N_m = M \cdot \omega [W] \quad (3.4.3)$$

Onde:

$$M = F \cdot r [Nm] \quad (3.4.4)$$

E:

$$\omega = n \cdot \frac{\pi}{30} [rad/s] \quad (3.4.5)$$

Sendo:

$$N_m = F \cdot r \cdot n \cdot \frac{\pi}{30} [W] \quad (3.4.6)$$

Equação que expressa a potência mecânica em função das medidas variáveis pelo equipamento e constantes conhecidas.

### Cálculos do rendimento

Um dos parâmetros de estudo mais importante das bombas é o seu rendimento. O seu valor determina em grande medida a economia e a exploração. Por isso, o seu estudo é importante e repartido em conceitos distintos que ajudam a conhecer os fatores que dependem dele.

Exceto no caso do desenho das bombas donde se subdivide segundo os aspetos internos da bomba, os rendimentos mais utilizados são:

- Rendimento mecânico de transmissão ( $h_m$ );
- Rendimento interno da bomba ( $h_i$ );
- Rendimento total da bomba ( $h$ ).

O rendimento mecânico, expressa a relação entre a potência recebida pelo impulsor da bomba e a proporcionada pelo motor. O seu valor não poderá calcular-se, mas estima-se em 95 % como é habitual nestes casos.

O rendimento interno da bomba expressa a relação entre a potência comunicada ao fluido e a recebida pelo impulsor da bomba:

$$n_i = \frac{N_h}{N_m \cdot n_m} \quad (3.4.4)$$

O rendimento total da bomba é o da máquina no seu conjunto e é devido ao termo mecânico e ao termo hidráulico:

$$n = n_m \cdot n_i = \frac{N_h}{N_m} \quad (3.4.5)$$

### Cálculo da capacidade dos reservatórios

Segundo o critério de dimensionamento descrito por *Fialho*<sup>18</sup> o volume do reservatório é aconselhado que no mínimo seja o triplo do caudal da bomba.

Logo:

$$V_{Reservatório} = 3 \times Q_{bomba}$$

$$V_{Reservatório} = 3 \times 4.8m^3 = 14.4m^3$$

Sabendo que o volume é:

$$V = l \times c \times a$$

Legenda:

l- Largura;

c- Comprimento;

a- Altura.

Calculando a capacidade de cada reservatório:

- O reservatório de água fria tem a medida de 30cm largura, 40cm de comprimento, 100cm de altura, logo:

$$V = 30cm \times 40cm \times 100cm = 120.000cm^3$$

$$V = 120.000cm^3$$

$$V = \frac{120.000}{1000} = 120l$$

O reservatório de água fria terá a capacidade de 120 litros

- O reservatório de água quente tem a medida de 29cm largura, 39cm de comprimento, 99cm de altura, logo:

---

<sup>18</sup> Automação hidráulica, projetos, dimensionamento e análise de circuitos.

$$V = 29cm \times 39cm \times 99cm = 111.969cm^3$$

$$V = 111.969cm^3$$

$$V = \frac{111.969}{1000} = 112l$$

O reservatório de água quente terá a capacidade de 112 litros.

### Cálculos hidráulicos

É conveniente representar o nível de energia mecânica, usando alturas para facilitar a visualização a visualização dos diversos termos da equação de Bernoulli. Isso é feito dividindo cada termo da equação por g para obter:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} \quad (3.4.13)$$

H= carga total do escoamento;

Z= carga de elevação;

p/γ= carga de pressão;

V<sup>2</sup>/2g= carga da velocidade;

A energia específica total que uma bomba comunica ao fluido vem determinado pela diferença de energias específicas entre a aspiração e a descarga da bomba:

$$H_t = H_d - H_a [m] \quad (3.4.14)$$

Sabe-se que:

$$V = \frac{Q}{A} [m/s] \quad (3.4.15)$$

$$\text{E portanto: } H_t = (z_d - z_a) + \frac{P_d - P_a}{\gamma} + \frac{V_d^2 + V_a^2}{2g} [m] \quad (3.4.16)$$

A que expressa dependendo do caudal e a geometria é:

$$H_t = (z_d - z_a) + \frac{P_d - P_a}{\gamma} + \frac{Q^2}{2g} * \left( \frac{1}{A_d^2} + \frac{1}{A_a^2} \right) [m] \quad (3.4.17)$$

Considerando que a situação da tubagem não coincide exatamente com a admissão e a descarga da bomba, a expressão anterior deverá corrigir-se. Aplicando Bernoulli entre as secções onde estão localizados os transdutores de pressão e as secções extremas da bomba que são obtidas:

$$z_d + \frac{P_d}{\gamma} = z_{dp} + \frac{P_{dp}}{\gamma} [m] \quad (3.4.18)$$

E

$$z_a + \frac{P_a}{\gamma} = z_{ap} + \frac{P_{ap}}{\gamma} [m] \quad (3.4.19)$$

Sendo a expressão final da altura total em função das magnitudes medíveis e dos dados do equipamento:

$$H_t = \frac{P_{dp}-P_{ap}}{\gamma} + (z_{dp} - z_{ap}) + \frac{Q^2}{2g} * \left( \frac{1}{A_{dp}^2} - \frac{1}{A_{ap}^2} \right) [m] \quad (3.4.20)$$

O valor da potência hidráulica comunicada pela bomba ao fluido pode obter-se mediante a expressão:

$$N_h = \gamma * Q * H_t [W] \quad (3.4.21)$$

### Cálculo da condutividade térmica

A lei de Fourier impõe um fluxo de calor através de um material que é diretamente proporcional ao gradiente negativo de temperatura.

Esta lei pode ser comentada de duas maneiras distintas<sup>19</sup>:

- 1- A fórmula completa em que constatamos a quantidade de energia que sai para fora ou dentro de um corpo como um só;
- 2- A fórmula diferencial, em que se constata os fluxos de energia local. O fluxo de calor é a quantidade que percorre uma unidade de área por unidade de tempo.

Pode-se determinar o fluxo de calor transportado por condução pela Lei de Fourier. A constante<sup>20</sup>, é a condutividade térmica do próprio material a utilizar. Na utilização de 2 materiais o que tiver maior condutividade térmica, transferi-la-á para a de menor condutividade.

$$q'' = \frac{q}{a} = -K \cdot \frac{dt}{dx} \quad 4.2.4$$

A equação destina-se à situação unidirecional, quando há diferença de temperatura numa direção.

Se a condutividade de temperatura for linear, no caso concreto:

4.2.5

<sup>19</sup> Livro, fundamentos de transferência de calor e massa sétima edição

<sup>20</sup> Constante= K, coeficiente de condutividade térmica

$$\frac{dt}{dx} = \frac{T2 - T1}{L}$$

Assim a referida equação final ficara da seguinte forma:

$$q'' = -K \cdot \frac{(T2 - T1)}{L} \quad 4.2.6$$

A constante K é a condutividade térmica do material em estudo. A que tiver maior condutividade térmica conseguirá transferir uma maior quantidade de calor para a mesma diferença de temperatura.

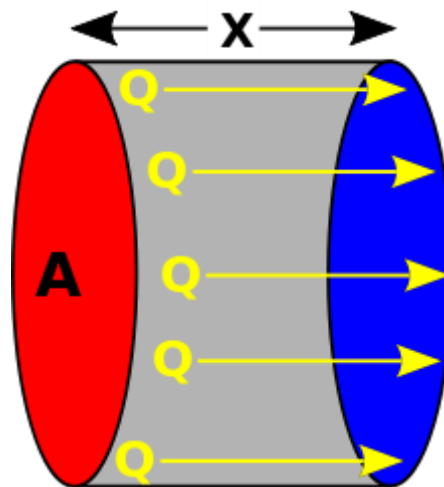


Figura 69: Transferência de calor por condução [A, D] [10]

## 7 Testes e resultados

### Simulação da altura manométrica

Foi necessário encontrar uma forma de conseguir simular o esforço das bombas ao entregar o fluido a uma determinada altura. Assim é possível verificar como seria o seu desempenho a enviar água para um piso de um edifício.

A altura manométrica depende essencialmente dos seguintes fatores:

- A pressão  $P_1$ ;
- A pressão  $P_2$ ;
- A diferença de alturas entre a medição geométrica ( $h_2 - h_1$ );
- O caudal  $Q$ ;
- O diâmetro de entrada e saída do fluido  $D$ .

Para esse efeito foi usada a seguinte fórmula:

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + (h_2 - h_1) + \frac{8 Q^2}{g \pi^2} * \left( \frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right) \quad (3.4.22)$$

### Parâmetros da simulação

De forma a verificarmos qual a altura manométrica da bomba, foram aplicados os valores obtidos na leitura dos vários sensores da bancada de ensaios.

Os valores encontrados foram:

- A pressão  $P_1 = 530000$  Pa
- A pressão  $P_2 = 101$  Pa
- A altura  $h_1 = 1,070$  m
- A altura  $h_2 = 0,2$  m
- O caudal  $Q = 0.001308$  m<sup>3</sup> / s (4710 L/h)
- O diâmetro  $D_1 = 0,04$  m
- O diâmetro  $D_2 = 0,04$  m
- A massa volúmica  $\rho = 998,21$  kg/m<sup>3</sup>

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} + (h_2 - h_1) + \frac{8 Q^2}{g \pi^2} * \left( \frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4} \right) \quad (3.4.22)$$

$$H = \frac{530000 - 101}{998 * 9.81} + (1.07 - 0.2) + \frac{8 * 0.001308^2}{9.81 \pi^2} * \left( \frac{1}{0.04^4} - \frac{1}{0.04^4} \right) \quad (3.4.23)$$

$$H \cong 55 \text{ m}$$

De forma a realizar a simulação da altura, é efetuado o estrangulamento da válvula de duas vias. A redução da secção do tubo criada pelo estrangulamento, resulta num aumento da pressão. Dessa forma, é possível simular uma altura manométrica diferente.

A válvula de 2 vias varia em termos percentuais, entre a abertura completa, 100% e os 50% da abertura da mesma, desta maneira efetuou-se múltiplos testes, ou seja, começou-se por colocar a válvula de 2 vias motorizada a 98%, 96%, 94%, 92%, 90% e assim sucessivamente até se atingir os 50%, deste modo retirou-se 25 diferentes caudais.

Demonstrados e recolhidos os valores dos testes, são colocados na fórmula acima exemplificada (3.4.23), e obtém-se as diversas alturas manométricas de funcionamento a que as bombas estão a impulsionar o fluído. Com estas alturas efetua-se a comparação do bom ou mau funcionamento das bombas hidráulicas, nos diversos cenários estudados.

O software LOGO Soft 8 permite ainda 2 possibilidades extras para efetuar a recolha destes dados, a primeira é a conexão a um computador portátil e recolher através do software Excel, recolhendo esses dados para o programa mencionado atrás, existe uma enorme variedade de gráficos a elaborar com os dados recolhidos. A segunda possibilidade existente é a retirada de o cartão de memória incorporado no software LOGO Soft8, os dados são recolhidos e dessa maneira construir demonstrações para se melhor compreender os diversos cenários possíveis de funcionamento das bombas hidráulicas.

### 7.1.1 Gráficos

Na imagem da figura 70 está representado um menu com 2 gráficos referentes ao funcionamento das bombas 1 e 2. Dessa forma, ao programa foram adicionados vários menus com gráficos onde é possível verificar em tempo real o caudal e o consumo energético da bomba 1 e 2 como também do circuito em série e paralelo.

Do lado esquerdo do gráfico a amarelo é a linha do caudal, que a bomba está a debitar no momento, consegue-se a variação da mesma fechando a válvula de duas vias, com este procedimento simula-se várias alturas manométricas/avarias. Este procedimento está implicitamente interligado ao gráfico do lado direito, ao simular um esforço a bomba/motor, o consumo energético vai variar em função do teste a efetuar no momento.

Na mesma figura observa-se igualmente o sensor de pressão acoplado a bomba hidráulica número um( SPB1), o mesmo regista em tempo real a pressão no circuito, consegue-se igualmente ver a frequência a que o motor esta a funcionar naquele dado momento( REF\_B1), por fim visualizamos a percentagem a que a válvula de duas vias esta em funcionamento( V2V\_AQ) este parâmetro pode ser definido entre os 100% e os 50%, é o range de funcionamento, que a mesma funciona.

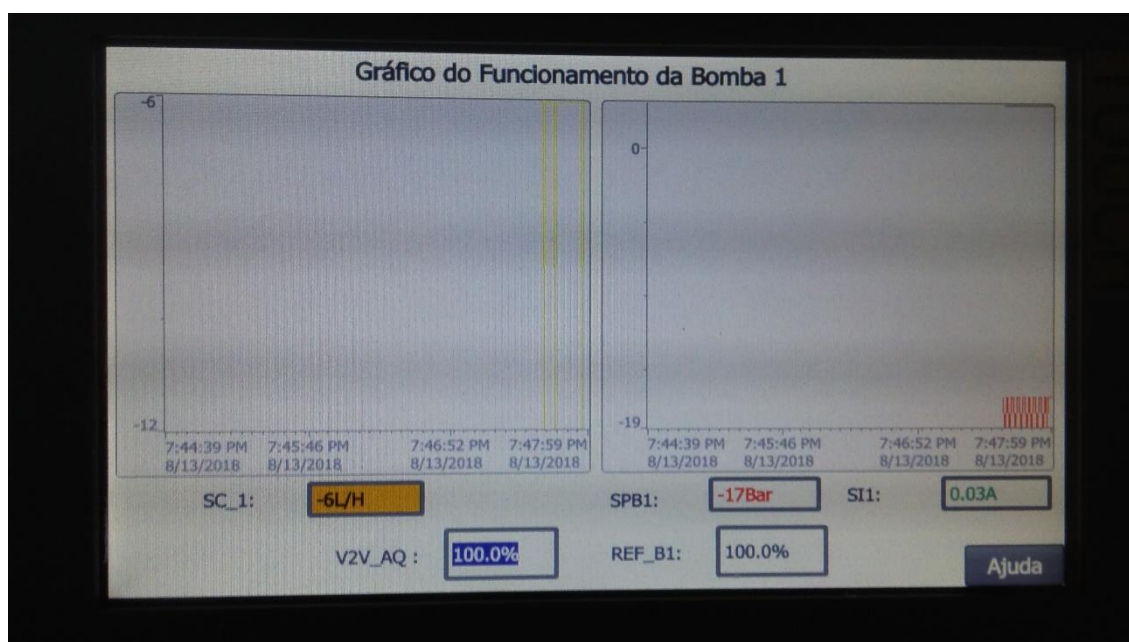


Figura 70: caudal/consumo energético

## 8 Análise económica

Após contactos com outras empresas fabricantes de bancadas de testes para bombas hidráulicas, foi possível obter orçamentos de bancadas. O intuito destes orçamentos passa por efetuar comparações entre os custos das mesmas.

Devido ao elevado grau de automatização que se colocou no desenvolvimento da bancada construída, a mesma não é comparável com as que se obteve os orçamentos.

Obteve-se orçamentos das bancadas da Gunt e Edibon. Em termos de software estão um passo a frente da bancada projetada. O seu software consegue simular avarias nas bombas ou num outro componente. Embora seja algo que poderá ser adicionado no futuro a esta bancada, atualmente ainda não foi possível desenvolver software para essas simulações. Esta é a única limitação em relação às bancadas orçamentadas, contudo, os equipamentos desta bancada têm um nível de automatismo superior, sendo apenas uma questão de software para conseguir realizar as simulações de avaria.

Nesta comparação houve a consciência de que as empresas têm de ter lucro. Por esse motivo, é importante destacar que a bancada desenvolvida não é para venda e por esse motivo não entra o fator lucro.

**Tabela 10:Tabela de orçamentos**

<b>Descrição</b>	<b>Valor</b>
Orçamento da bancada HidroTID	5.847.86 €
Orçamento da bancada da Gunt	28.515.85 €
Orçamento da bancada da Edibon	18.895.80 €

## 9 Conclusões e Perspetivas Futuras

O objetivo principal foi conseguido. Pretendia-se criar uma bancada *Hidro TID* que permitisse também ser utilizada não só numa vertente académica como também profissional. Também foi cumprido o objetivo de dotar este equipamento de um dispositivo que permitisse, de uma forma interativa e mais amiga do utilizador, a interação com toda a bancada. Através das atualizações realizadas, os alunos e professor podem concentrar-se naquilo que realmente interessa. Agora podem debruçar-se sobre todos os conceitos das bombas hidráulicas sem que exista uma curva de aprendizagem exagerada dos controlos e comandos do equipamento. Desta forma, a simplicidade foi atingida bem como a diversidade de formas para controlar a bancada.

Com o desenvolvimento deste trabalho, atingiu-se o objetivo inicialmente proposto da realização de uma bancada que permitisse analisar as características de funcionamento das bombas hidráulicas em avaliação, comparando os resultados obtidos no teste com as características técnicas fornecidas pelo fabricante.

Numa primeira fase de construção da *Hidro TID*, foi realizado o levantamento exaustivo de empresas na área da produção de bancadas de testes hidráulicos. Essa pesquisa permitiu entender melhor o que existe no mercado, como também usar esses conhecimentos para uma melhor seleção dos componentes e otimização dos custos de produção.

Foram também definidas as operações a realizar para a construção da bancada, bem como para a compra do material de instrumentação e medição, assim como todos os acessórios inerentes a montagem dos diversos componentes.

Após todo o levantamento, implementação e desenvolvimento de software, foi possível confirmar as vantagens desta bancada de testes de bombas hidráulicas. Essas vantagens, foram comprovadas com a realização de simulações e avaliações de resultados. Todos os resultados foram comparados com a ficha técnica da bomba hidráulica fornecida pelo fabricante. Foram ainda realizados testes em paralelo e serie, sendo assim possível observar o desempenho real da bomba.

Uma das vantagens mais relevantes da bancada *HidroTID* é a simulação de avarias tais como, problemas de tensão nas bombas ou avaria de turbinas.

Em síntese, o desenvolvimento desta bancada revelou-se um desafio difícil, mas muito interessante. Foram necessários muitos contactos com empresas do ramo.

Constatou-se que, tanto a nível Nacional como até mesmo a nível Europeu, não existe nada similar às características da *HidroTID*.

### **Perspetivas Futuras**

O passo seguinte na evolução da *HidroTID*, deverá ser o desenvolvimento de um software que permita simular avarias em todos os componentes automatizados nela incorporados. Sendo o foco principal deste equipamento o uso didático, é de todo relevante conseguir essas simulações.

Esta futura atualização permitirá aos alunos ter uma melhor perceção e preparação para a entrada no mercado de trabalho, pois todos os conceitos e problemas foram abordados.

Outra das melhorias possíveis, é a alteração dos suportes da tubagem. A composição atual permite que uma utilização intensiva cause vibrações na tubagem. Eventualmente, estas vibrações poderão causar um desgaste ou romper o tubo. Para evitar tal cenário, é recomendável a aplicação de abraçadeiras em PVC.

## Webgrafia

- [1] P. E. 101, “Understanding Pumps, Motors, and,” [Online]. Available: <http://www.pumped101.com/>. [Acedido em 19 12 2017].
- [2] leogroup, “Bomba Centrífuga Auto-aspirante, Bomba centrífuga, Bomba de água,” [Online]. Available: <http://www.leogroup.com.pt/a2-self-priming-pump.html>. [Acedido em 19 12 2017].
- [3] ISOBOMBAS, “ISOBOMBAS - Bombas e Motores em Recife,” 16 04 2018. [Online]. Available: <https://www.isobombas.com.br/>. [Acedido em 16 04 2018].
- [4] VWR, “Sinalética de obrigatoriedade,” 9 03 2018. [Online]. Available: <https://pt.vwr.com/store/product/570027/sinaletica-de-obrigatoriedade>. [Acedido em 9 03 2018].
- [5] S. MIQUEL, “FERRETERIA SANT MIQUEL,” 14 05 2018. [Online]. Available: [https://www.ferreteriasantmiquel.com/index.php?\\_a=viewProd&productId=94](https://www.ferreteriasantmiquel.com/index.php?_a=viewProd&productId=94). [Acedido em 14 05 2018].
- [6] buerkert, “Typ 8032 - Durchflussmessgerät mit Flügelrad / Durchflusstransmitter,” 1 05 2018. [Online]. Available: <https://www.buerkert.at/de/type/8032>.
- [7] mercadolibre, “Mesa / Bancada Reforçada Em Perfil Alumínio Estrutural,” 20 05 2018. [Online]. Available: [https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-709063353-mesa-bancada-reforcada-em-perfil-aluminio-estrutural-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-709063353-mesa-bancada-reforcada-em-perfil-aluminio-estrutural-_JM). [Acedido em 20 05 2018].
- [8] Siemens, “Industry Support Siemens,” 20 04 2018. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/error/document/109096785/wincc-professional-v13-0-sp1?dti=0&dl=en&lc=pt-BR>. [Acedido em 20 04 2018].
- [9] Siemens, “brochure\_panel,” 18 02 2018. [Online]. Available: [https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/pt/brochure\\_panels\\_pt.pdf](https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/pt/brochure_panels_pt.pdf). [Acedido em 20 04 2018].

- [10] Rarfix, “Condução Térmica,” 3 04 2018. [Online]. Available: <https://rarfix.org/conducao-termica-toda-materia/>. [Acedido em 3 04 2018].
- [11] doctordrone, “Drones na Inspeção de Redes de Energia Elétrica,” 17 02 2018. [Online]. Available: <http://doctordrone.com.br/drones-na-inspecao-de-linhas-de-energia/>. [Acedido em 17 02 2018].
- [12] Grundfos, “Leis de semelhança,” 30 05 2018. [Online]. Available: <https://pt.grundfos.com/servico/encyclopedia-search/laws-of-affinity.html>. [Acedido em 30 05 2018].
- [13] learnengineering, “centrifugal-pump,” [Online]. Available: <http://www.learnengineering.org/2013/03/centrifugal-pump.html>. [Acedido em 20 12 2017].
- [14] SIVAL, “Tubos e Perfis,” 13 09 2008. [Online]. Available: [http://www.sival2.pt/index.php?id=6&aid=1&fid=2&subfid=26&\\_lang=PT](http://www.sival2.pt/index.php?id=6&aid=1&fid=2&subfid=26&_lang=PT). [Acedido em 13 09 2018].
- [15] Gunt, “Products,” 16 04 2018. [Online]. Available: <https://www.gunt.de/en/products/fluid-mechanics/transient-flow/water-hammer/hydraulic-ram-pumping-using-water-hammer/070.15015/hm150-15/glct-1:pa-148:ca-782:pr-562>. [Acedido em 16 04 2018].
- [16] riscaorisco, “ergonomia-nos-postos-de-trabalho,” 7 03 2018. [Online]. Available: <http://riscaorisco.blogspot.com/2012/06/ergonomia-nos-postos-de-trabalho.html>.
- [17] BELIMO, “Thermcross International,” 12 05 2018. [Online]. Available: [http://www.thermcross.com/es/475\\_belimo](http://www.thermcross.com/es/475_belimo). [Acedido em 12 05 2018].
- [18] C. F. P. E. L. Ltda, “Válvulas De Retenção - Casa Forte Prod Equip Latic Ltda,” 15 02 2018. [Online]. Available: <https://www.solucoesindustriais.com.br/empresa/maquinas-e-equipamentos/casa-forte-prod-equip-latic-ltda/produtos/valvulas/valvulas-de-retencao-2>. [Acedido em 15 02 2018].

**Referências bibliográficas**

- [A]Çengel Boles, Therodynamics An Engineering Approach, Mc Graw Hill, 2011
- [B]Theodore L. Bergman/Adrienne S. Lavine/Frank P. Incropera/David P. Dewitt, fundamentos de transferência de calor e massa, Sétima ed., LTC Editora, 2014
- [C]C. Moura Branco/J. Martins Ferreira/J. Domingos Da Costa/A. Silva Ribeiro, 3º Ed., Fundação Calouste Gulbenkian, 2012
- [D]Clito Afonso, Termodinâmica para engenharia, 1º Ed, FEUP Edições, 2012
- [E]Automação Hidráulica - Projectos Dimensionamento E Análise De Circuitos