



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro  

---

Escola Politécnica

# PLANTA DIDÁTICA AUTOMATIZADA PARA ENSINO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Jéssica dos Santos Vieira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientadores:  
Rossana Odette Mattos Folly  
Andrea Valdman

Rio de Janeiro

Fevereiro, 2015

# PLANTA DIDÁTICA AUTOMATIZADA PARA ENSINO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA

Jéssica dos Santos Vieira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO.

Examinado por:

---

Prof<sup>a</sup>. Rossana Odette Mattos Folly, DSc

---

Prof<sup>a</sup>. Andrea Valdman, DSc

---

Prof<sup>a</sup>. Heloisa Lajas, DSc

---

Prof<sup>a</sup>. Andrea Parente, MSc

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Fevereiro de 2015

# Agradecimentos

A Deus primeiramente, pois acredito que foi por meio dEle que consegui concluir mais essa etapa na minha vida e sem Ele não chegaria até aqui.

Aos meus pais Rosângela e Vander que sempre me incentivaram e financiaram meus estudos e me orientaram e educaram durante esses anos.

À minha família no geral, meu irmão Diego, tios, primos e minha cunhada que direta ou indiretamente me fizeram melhorar como pessoa e avançar na vida.

Às minhas amigas Juliana, Mayara, Melyssa, Marcely, Natallia, Priscila e Vanessa que são como família para mim, e algumas de fato são, pelo seu suporte, risos e lágrimas ao meu lado.

À minha turma T-13 que sempre será especial para mim e me ajudou a passar por cada desafio durante a faculdade e me aconselhando fora dela.

À universidade e aos meus professores, sem os quais não obteria o sucesso da formação.

Às minhas orientadoras que me incentivaram e de fato me orientaram durante esse processo, com seu conhecimento e paciência.

E em especial às pessoas que conheci através da faculdade e se tornaram minha família durante um ano, minhas amigas de intercâmbio, dentre elas Flávia, Júlia, Luísa, Maira, Mariane, Natalia, Sara, família Borges e família Cavalcante.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

## Planta Didática Automatizada para Ensino de Graduação em Engenharia

Jéssica dos Santos Vieira

Fevereiro 2015

Orientadores: Rossana Odette Mattos Folly e Andrea Valdman

Curso: Engenharia de Controle e Automação

Nesse trabalho projeta-se uma bancada experimental de instrumentação para os alunos de Engenharia onde poderão ser analisados o comportamento do sistema e suas grandezas uma vez que ocorra alteração do seu estado de equilíbrio. Do processo com características industriais numa escala semi-industrial são analisados os instrumentos a serem utilizados em diferentes tecnologias de transmissão eletro-eletrônicas.

Sugere-se com esta planta uma mini estação de aquecimento de água, sendo parte retornável ao tanque e outra descartada. Deste processo, são medidas grandezas como vazão, temperatura, nível e pressão. A medida desta pode ser feita em seu valor absoluto ou comparativo a outras pressões em diferentes pontos da planta. O *software* Visio® foi usado na criação da planta, habilitando a organização e divisão da planta por meio de camadas que possibilita o agrupamento dos elementos envolvidos na mesma.

Os sensores, válvulas, bomba e centrais são os elementos analisados quanto a viabilidade de implementação através, também, do levantamento econômico levando em conta as tecnologias 4 a 20 mA e Arduino. Ao final é sugerida a estrutura que concilia arranjo dos instrumentos e tecnologia de forma a reduzir custos sem prejudicar a proposta inicial. Assim, apresentando o preço da escolha final da bancada didática.

*Palavras-chave:* bancada, instrumentação, custo, didático.

Abstract of Undergraduate Project presented to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for de degree of Engineer.

## Automated Didactic Plant for Undergraduate Engineering Teaching

Jéssica dos Santos Vieira

February 2015

Advisors: Rossana Odette Mattos Folly and Andrea Valdman

Specialty: Control and Automation Engineering

In this paper is designed an instrumentation testing bench for the Engineering students, in which it will be possible to analyze the system behavior and its magnitudes once there is a change of its state of balance. The instruments of the the process with industrial characteristics in a semi-industrial scale used in different electro-electronic transmission technologies are analyzed.

In this plant is suggested a mini water heating station, which one part is returnable to the tank and the other is discarded. Through this process, quantities such as flow, temperature, level and pressure are measured. The last one may be its absolute value or be compared to other pressure values in different points of the plant. The Visio® software was used in the plant creation, enabling the organization and division of the plant through slayers that allows the grouping of the elements involved in it.

The sensors, valves, pump and centrals are the elements analyzed as the feasibility of implementation through, also, the economic survey taking into account the technologies as Arduino and 4-20 mA. At the end, it is suggested a scheme that combines the instruments array in order to reduce cost without harming the original proposal. Therefore, it is presented the price of the final choice concerning the experimental teaching bench.

*Keywords:* bench, instrumentation, cost, didactic.

# Sumário

1. Introdução.....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivo.....	1
2. Revisão Teórica.....	3
2.1. Sensores e Princípios de Medição.....	3
2.2. Elementos de Atuação.....	13
2.3. Tecnologias de Transmissão Eletro-Eletrônica.....	23
2.4. Arduino.....	24
2.5. Grau de Proteção IP.....	25
3. Metodologia.....	28
3.1. Processo Industrial.....	28
3.2. Subsistema de Medição de Pressão.....	30
3.3. Malhas de Controle Contínuo.....	32
3.4. Intertravamento.....	32
4. Resultados.....	34
4.1. Desenvolvimento do Diagrama P&I.....	34
4.2. Levantamento de Instrumentos.....	40
4.3. Desenvolvimento da Lógica de Intertravamento.....	43
4.4. Descrição Detalhada dos Instrumentos.....	44
4.5. Estudo de Viabilidade Econômica.....	46
4.6. Arquitetura Futura.....	50
4.7. Arquiteturas do Sistema de Automação e Controle Propostas.....	54
5. Conclusão e Sugestões.....	59
6. Referências.....	60
7. Anexos.....	62

## Lista de Figuras

Figura 1 - Sensor capacitivo. Fonte: adaptado de (Webster, 1999).....	4
Figura 2 - Manômetro coluna em tubo U. Fonte: adaptado de (Halliday, Resnick, & Walker, 2008) .....	5
Figura 3 - Manômetros de Bourdon. Tipo C, espiral e helicoidal. Fonte: adaptado de (Webster, 1999) .....	5
Figura 4 - Esquema manômetro do tipo diafragma. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)6	
Figura 5 - Em (a) esquema de medidor tipo boia com contrapeso, em (b) a boia contém um ímã tornando possível a inclusão de chaves ou alarme de nível ao medidor. Fonte: adaptado de (Webster, 1999) .....	7
Figura 6 - Medição por borbulhamento. Fonte: adaptado de (Webster, 1999) .....	8
Figura 7 - Barras de metal separadas e após variação de temperatura. Fonte : (Webster, 1999).....	9
Figura 8 - Medição de temperatura por barras bimetálicas. Fonte: (SENAI, 2003).....	9
Figura 9 - Esquema para a Equação de Bernoulli. Fonte: adaptado de (Webster, 1999) 11	
Figura 10 - Esquema da Placa de Orifício. Fonte: adaptado de (Webster, 1999) .....	11
Figura 11 - Tubo Venturi. Fonte: adaptado de (Webster, 1999) .....	12
Figura 12 – Efeito Hall. Barra de cobre de espessura $d$ sujeita a um campo magnético $B$ e corrente elétrica $i$ , onde $V_d$ é a velocidade de deriva do elétron e $F_B$ a força magnética. Após o surgimento do campo elétrico $E$ e força elétrica $F_E$ , os elétrons seguem caminho original. Fonte: (Halliday, Resnick, & Walker, 2008) .....	13
Figura 13 - Válvula de Controle. Fonte: adaptado de (Love, 2007).....	14
Figura 14 - Válvula Globo. Fonte: (Smith & Zappe, 2004) .....	16
Figura 15 - Válvula Borboleta. Fonte: (Smith & Zappe, 2004) .....	16
Figura 16 - Válvula Diafragma do tipo sela à esquerda e reta à direita. Fonte: (Smith & Zappe, 2004).....	17
Figura 17 - Válvula Esfera. Fonte: (Smith & Zappe, 2004).....	17
Figura 18 - Válvula Gaveta Paralela. Fonte: (Smith & Zappe, 2004).....	18
Figura 19 - Válvula Gaveta tipo Cunha. Fonte: (Smith & Zappe, 2004) .....	18
Figura 20 – Gráfico Fluxo x Posição de abertura da válvula. Fonte: adaptado de (Smith & Zappe, 2004).....	20
Figura 21 - Bomba a engrenagens. Fonte: adaptado de (Fialho, 2004).....	21
Figura 22 - Bomba a palheta. Fonte: (Fialho, 2004) .....	22
Figura 23 - Bomba a pistão axial. Fonte: (Fialho, 2004).....	22
Figura 24 - Bomba a pistão radial. Fonte: (Fialho, 2004) .....	23
Figura 25 - Placa Arduino. Fonte: (Arduino, 2014) .....	25
Figura 26 - Planta geral do Processo Industrial. ....	29
Figura 27 – Subsistema de Processo. ....	30
Figura 28 – Subsistema de Medição de Pressão.....	31
Figura 29 - Camada Equipamento destacada. ....	35
Figura 30 - Camada Instrumento destacada. ....	36
Figura 31 - Camada Medição visível.....	37
Figura 32 - Camada Válvula destacada. ....	38

Figura 33 - Esquema de Medição de Pressão da Proposta 1 .....	39
Figura 34 - Esquema com possibilidade de comparação entre as pressões.....	51
Figura 35 – Subsistema de Medição de Pressão com possibilidade de comparação entre as pressões. ....	52
Figura 36 – Caminhos percorridos pelo fluido para a medição dos pontos P2 e P3 .....	54



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tabela de conversão de unidade de pressão. Fonte: adaptado de (Webster, 1999).....	4
Tabela 2 - Tabela de termopares. Fonte: adaptado de (Webster, 1999) .....	10
Tabela 3 - Tabela Grau de Proteção - primeiro dígito. Fonte: adaptado de (IEC, 2001) .....	26
Tabela 4 - Tabela Grau de Proteção - segundo dígito. Fonte: adaptado de (IEC, 2001) .....	27
Tabela 5 - Tabela de descrição das Camadas .....	34
Tabela 6 - Elementos associados à Camada Equipamento.....	35
Tabela 7 - Elementos associados à Camada Instrumento.....	36
Tabela 8 - Elementos associados à Camada Medição .....	37
Tabela 9 - Elementos associados à Camada Válvula .....	38
Tabela 10 - Tabela dos instrumentos de medição.....	40
Tabela 11 - Tabela de bomba .....	41
Tabela 12 - Tabela da válvula de controle.....	41
Tabela 13 - Tabela das válvulas solenóides.....	42
Tabela 14 - Tabela das válvulas manuais .....	43
Tabela 15 - Instrumentos do subsistema de Processo .....	44
Tabela 16 - Instrumentos do Subsistema de Medição de Pressão .....	45
Tabela 17 - Tabela de preços dos sensores. Fonte: + (Automatele, 2014), * (Laboratório de Garagem, 2014), ** (Webtronico, 2014), *** (Aliexpress, 2014).....	46
Tabela 18 – Tabela de preços da bomba. Fonte: * (Shoptime, 2014) .....	48
Tabela 19 - Tabela de preços das válvulas auto-operadas. Fonte: *e-mail (Automatele, 2014) **e-mail (Ascoval, 2014).....	49
Tabela 20 - Tabela de preços das válvulas manuais. Fonte: * e-mail (Ascoval, 2014)..	50
Tabela 21 - Valor total da Arquitetura 4 a 20 mA. Fonte: * (Automatele, 2014) .....	55
Tabela 22 - Valor total da Arquitetura Arduino. Fonte: * (Laboratório de Garagem, 2014).....	56
Tabela 23 - Tabela de preços da Arquitetura Híbrida – Subsistema de Processo 4 a 20 mA .....	57
Tabela 24 - Tabela de preços da Arquitetura Híbrida – subsistema de Medição de Pressão Arduino.....	58
Tabela 25 - Tabela de preços Arquitetura Híbrida – Total.....	58

## **Lista de Abreviaturas**

CLP – Controlador Lógico Programável

IEC – International Electrotechnical Commission

ISA – International Society of Automation

P&I – Piping and Instrumentation Diagram

SI – International System of Units

## **Lista de Tags**

BM-1001: Bomba Hidráulica

FCV-1001: Válvula de Controle de Vazão

FE-1001 – Placa de Orifício

FIC-1001: Controlador e Indicador de Vazão

FT-1001: Transmissor de Vazão

HCV: Válvula Manual

LIC-1001: Controlador e Indicador de Nível

LIT-1001: Transmissor e Indicador de Nível

LSH: Chave de Nível Alto

LSL: Chave de Nível Baixo

PT-1001: Transmissor de Pressão Diferencial

TIT-1001: Transmissor e Indicador de Temperatura

TQ-1001: Tanque

TSH: Chave de Temperatura Alta

XV: Válvula Solenóide

# **1. Introdução**

Controle e automação encontram-se nas mais variadas áreas de engenharia. Projeto de sistemas robustos, economicamente viáveis e com bom retorno estimula o avanço dessa área. Na indústria química não é diferente. A possibilidade de monitorar e interferir em um processo de forma remota aumenta a confiabilidade, segurança e facilidade de operação do projeto, tornando-o mais atrativo e a longo prazo até mesmo mais econômico (Dunn, 2005).

A instrumentação, no geral, também tem avançado nos últimos anos. O que antes era considerado impossível de ser medido, hoje, já é uma realidade. O avanço tecnológico permite não só novos elementos a serem medidos e monitorados, como provê maior precisão e confiabilidade, além de maior segurança para o processo (Dunn, 2005).

Por isso a importância de investimento nessas áreas e ampliação desse universo. O controle de processos é essencial para, num horizonte amplo, a própria economia de um país. Processos mais eficientes e econômicos resultam comprovadamente em um produto final mais barato e de maior qualidade, tornando-o mais competitivo no mercado, seja esse produto um serviço ou um bem de consumo.

## **1.1. Motivação**

A vida profissional começa nas universidades por meio do aprendizado em sala de aula e a prática em aulas experimentais. Sendo esta uma escola de formação de engenheiros, aulas práticas são de extrema importância. Bancadas de experimentos são importantes e geram mais confiança para o futuro engenheiro, uma vez que ele já teve algum tipo de contato com o experimento, podendo usar no mercado de trabalho as noções obtidas por meio do mesmo.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo principal deste projeto constitui-se no estudo de implementação de uma bancada experimental de instrumentação, onde poderão ser analisados o comportamento do sistema e suas grandezas uma vez que ocorra alteração do seu estado de equilíbrio.

Como todo módulo experimental empregado nas instituições de ensino superior, o objetivo é que o estudante tenha contato prático com aquilo que ele estuda, aumentando a absorção da matéria e ampliando seu entendimento.

O presente projeto apresenta uma lógica de intertravamento para segurança e bom funcionamento das medições e para permitir a redução de custos ao utilizar um mínimo de instrumentos.

E por fim, o projeto analisa sua viabilidade de introdução em cursos de graduação através do levantamento econômico comparativo entre as diferentes tecnologias oferecidas atualmente no mercado de Instrumentação Industrial. Como resultado o desenvolvimento do Diagrama P&I da planta a ser adotada, assim como o levantamento dos instrumentos e suas descrições detalhadas, apresentação de uma proposta futura de arquitetura e três estruturas propostas para a planta adotada.

## **2. Revisão Teórica**

Como forma de determinar os equipamentos mais adequados a serem utilizados no escopo deste trabalho, serão citados alguns componentes e suas características e posteriormente analisadas suas especificações.

Serão analisados os sensores empregados com diferentes tipos de medidas. Assim como os elementos de atuação envolvidos, como as válvulas de controle, solenoide, manuais e as bombas.

### **2.1. Sensores e Princípios de Medição**

Os sensores são os responsáveis pela conversão da variável física de entrada para um sinal de saída da mesma variável. Eles fornecem medidas legíveis sobre os instrumentos a eles ligados, de forma que se possa tratar a informação da melhor maneira (Webster, 1999).

No escopo deste trabalho serão tomadas medidas de quatro grandezas diferentes, como pressão, nível, temperatura e vazão. Serão revisadas as mais importantes, por seu uso comum ou específico.

#### **2.1.1. Pressão**

Pressão é a uma grandeza escalar definida pela força normal por unidade de área em qualquer superfície. Pressão possui diferentes tipos de medições, dentre as mais comuns, destacam-se a pressão absoluta, pressão manométrica e pressão diferencial (Webster, 1999).

A pressão absoluta é a diferença entre o ponto medido e o vácuo, cuja pressão é zero. A pressão manométrica é a diferença entre o ponto medido e a pressão atmosférica exercida naquele lugar. E a pressão diferencial é a diferença entre o ponto medido e um ponto referencial qualquer (Webster, 1999).

#### *Unidades*

O Sistema Internacional de Unidades (SI) adota o pascal (Pa) como unidade padrão, que é o mesmo que  $[N/m^2]$  (Webster, 1999).

A Tabela 1 exemplifica a conversão de algumas unidades mais usadas para pressão.

**Tabela 1 - Tabela de conversão de unidade de pressão. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)**

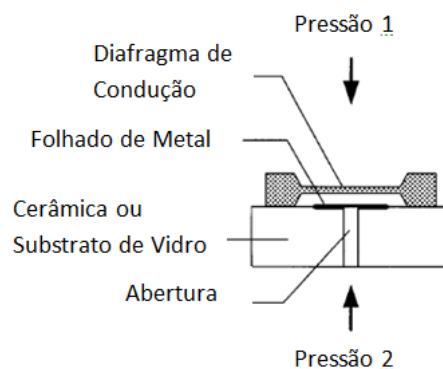
Unidades	kPa	Psi	cm H <sub>2</sub> O	mmHg	mbar
<b>kPa</b>	1.000	0.1450	10.20	7.501	10.00
<b>Psi</b>	6.895	1.000	70.31	51.72	68.95
<b>cm H<sub>2</sub>O</b>	0.09806	1.422x10 <sup>-2</sup>	1.000	0.7355	0.9806
<b>mm Hg</b>	0.1333	1.934x10 <sup>-2</sup>	1.360	1.000	1.333
<b>Mbar</b>	0.1000	0.01450	1.020	0.7501	1.000

### *Métodos de Medição*

Diferentes tipos de medição são usados de acordo com a grandeza a ser medida. Em relação à pressão, existem os de medição direta, que podem ser feitos por meio de coluna líquida ou sólida e os de medição indireta, que medem as algumas propriedades dos gases que sofrem alterações de acordo com suas densidades e que normalmente produzem uma saída elétrica (Webster, 1999).

### *Sensores Capacitivos*

O elemento de medição é um diafragma formado por duas placas, uma móvel, normalmente de metal ou silício e a outra estática, de cerâmica folhada a metal ou substrato de vidro segundo a Figura 1. A pressão faz deslocar o diafragma, alterando a distância entre as placas. Essa variação de deslocamento provoca variação de Capacitância, uma vez que os mesmos são inversamente proporcionais (Webster, 1999).



**Figura 1 - Sensor capacitivo. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)**

### *Coluna Líquida*

Apesar de sua simplicidade, o tubo em ‘U’ é uma forma direta e uma das mais precisas de se medir pressão. O tubo é graduado e é usado um líquido motor (líquido no

interior do tubo) de peso específico conhecido. Uma de suas extremidades fica ligada à sua planta, enquanto a outra permanece destampada, apenas sob a influência da pressão atmosférica. A extremidade ligada à planta, uma vez sujeita à pressão (diferente da atmosférica), provoca desnível na coluna. A partir da equação:

$$p = \rho gh. \quad (1)$$

Onde  $p$  é a pressão manométrica,  $\rho$  é a densidade do fluido,  $g$  a gravidade e  $h$  o desnível da coluna (Webster, 1999).

O aparelho é limitado à pressão maior ou igual a 133 Pa, e seu líquido motor deve ser de baixa pressão de vapor (Webster, 1999).

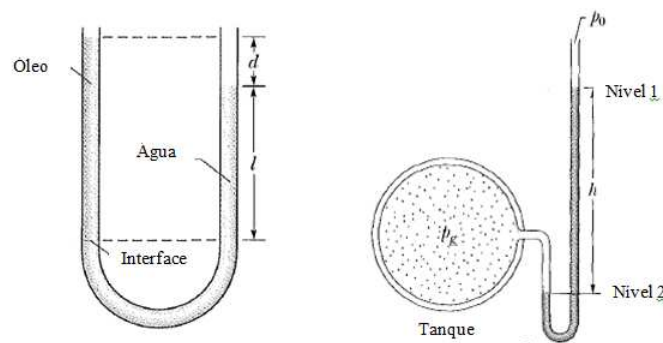


Figura 2 - Manômetro coluna em tubo U. Fonte: adaptado de (Halliday, Resnick, & Walker, 2008)

### Bourdon

Consiste em uma caixa com uma escala e um ponteiro. Dentro da mesma encontra-se o tubo de Bourdon, podendo o mesmo ser do tipo C, espiral ou helicoidal. Uma extremidade é ligada à caixa fixa enquanto a outra permanece livre ligada ao ponteiro. A pressão exercida sobre o medidor faz o tubo distender-se ou contrair-se atuando sobre o ponteiro (Webster, 1999).

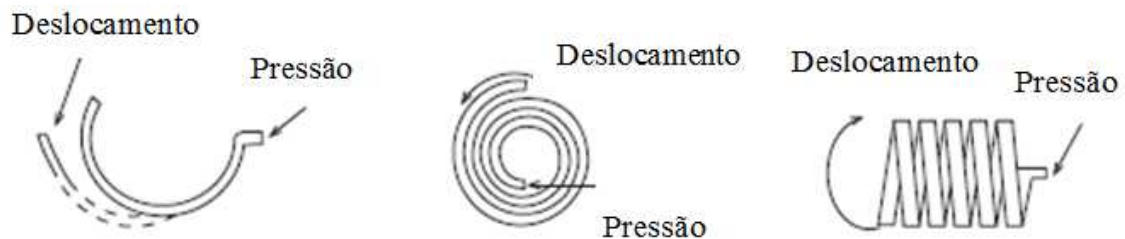
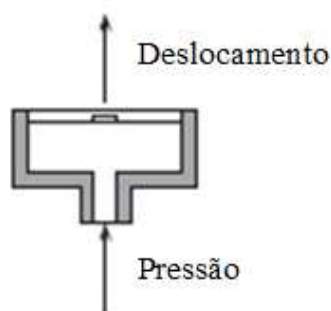


Figura 3 - Manômetros de Bourdon. Tipo C, espiral e helicoidal. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)



## *Diafragma*

O diafragma é construído de um material elástico, - mais comuns são aço inoxidável, latão, bronze e teflon - posicionado opostamente a uma mola. A aplicação de pressão no diafragma acarreta em seu deslocamento, sendo medido por um ponteiro. O diafragma expande até que a força elástica de seu material se iguale à força da mola. Possui baixo custo econômico e é robusto. Indicado para medir baixas pressões (máximo de 3 kgf/cm<sup>2</sup>) (Webster, 1999).



**Figura 4 - Esquema manômetro do tipo diafragma. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)**

### **2.1.2. Nível**

Nível é a altura de um líquido dentro de um recipiente em relação a um referencial, normalmente o fundo do recipiente. Sendo assim, é também uma grandeza escalar (Webster, 1999).

### *Unidades*

No Sistema Internacional (SI), o metro (m) foi definido como unidade padrão. Sendo suas subunidades usadas de acordo com o tamanho do recipiente, tipicamente tanques entre 0,5 m e 40 m de altura (Webster, 1999).

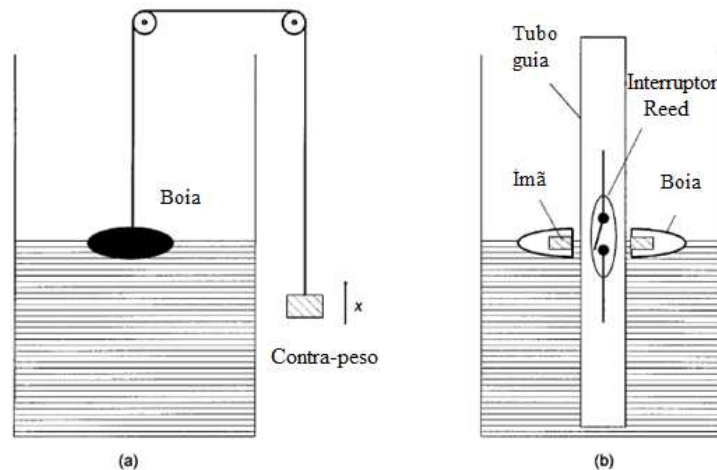
### *Métodos de Medição*

Os métodos de medição podem ser divididos em medição direta ou indireta. Como medição direta tem-se o visor de nível, boia ou flutuador, contato de eletrodos. A

medição indireta é feita através de capacitância, empuxo, célula, borbulhamento, dentre outros (Webster, 1999).

## *Boia*

A boia flutua sobre a superfície do líquido por ter densidade inferior ao mesmo. A Figura 5 mostra em (a) o sistema com uma boia simples capaz de ser medido apenas localmente com um contrapeso que se desloca verticalmente apontando o nível atual do reservatório, já em (b) o uso do ímã e do interruptor torna possível a integração com um transmissor, podendo o mesmo enviar a informação de nível. Sua medição, dessa forma, pode ser remota e não apenas local podendo ser configurados valores de chave para nível alto ou baixo. Ela é usada para bloquear ou admitir a passagem de 'nível' para o reservatório sempre que atingir um valor maior que o limite superior, ou menor que o limite inferior (Webster, 1999).



**Figura 5 - Em (a) esquema de medidor tipo boia com contrapeso, em (b) a boia contém um ímã tornando possível a inclusão de chaves ou alarme de nível ao medidor. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)**

## *Borbulhamento*

É um método de medição indireto, por pressão hidrostática. Ao fundo do reservatório que contém um fluido de densidade constante, é adicionado ar, provocando bolhas assim que o ar entra em contato com o fluido. A diferença de pressão entre o fundo e a superfície possibilita calcular a coluna de fluido entre esses dois pontos, através da equação

$$p = p_0 + \rho_L g L \rightarrow L = \frac{p - p_0}{g \rho_L} \quad (2)$$

Onde  $p$  é a pressão no fundo do reservatório,  $p_0$  a pressão na superfície,  $\rho_L$  é a densidade do fluido,  $g$  a gravidade e  $L$  a coluna de fluido entre os pontos de pressão medidos (Webster, 1999).

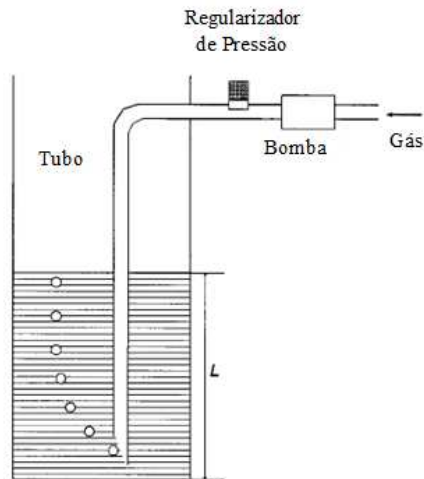


Figura 6 - Medição por borbulhamento. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)

## Capacitância

Esse tipo de medição também é indireto e é composto por um capacitor cilíndrico. Ele é formado por uma casca cilíndrica externa e um cilindro sólido interno. Ou seja, à medida que o nível cresce, a capacitância aumenta proporcionalmente, pois o material dielétrico entre os cilindros é substituído, o ar pelo fluido (Webster, 1999).

### 2.1.3. Temperatura

Um elemento muito importante a ser medido é a temperatura, pois o superaquecimento de um processo pode gerar consequências desastrosas. Dentre os sensores de temperatura, estão os elementos bimetálicos, resistivos e o mais comum, o termopar.

#### Bimetálicos

É um tipo de termômetro de dilatação. São usadas duas barras de metal, como mostrado na Figura 7, de diferentes coeficientes de dilatação soldadas paralelamente

(uma em cima da outra) em forma helicoidal. Uma de suas extremidades é ligada à base do termômetro, que permanece estático e a outra ao ponteiro do mesmo. A deformação da barra é proporcional à variação de temperatura a ela submetida. Ao serem aquecidas, as placas se deformarão devido à diferença de seus coeficientes de dilatação provocando sua distensão ou contração. Como observado na Figura 8, a extremidade ligada ao ponteiro é a extremidade livre, pela qual será medida a variação da temperatura (Webster, 1999).

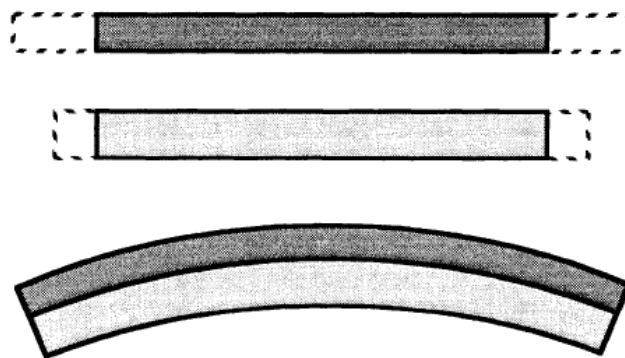


Figura 7 - Barras de metal separadas e após variação de temperatura. Fonte : (Webster, 1999)

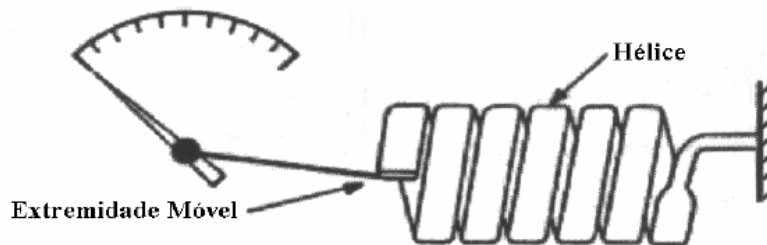


Figura 8 - Medição de temperatura por barras bimetálicas. Fonte: (SENAI, 2003)

### *Resistivo*

São conhecidos como Detectores de Temperatura Resistivos (RTD – *Resistive Temperature Detector*). Seu princípio de medição é a resistência elétrica metálica, a qual é diretamente proporcional à temperatura. Dentre os metais mais usados encontram-se a platina, cobre e o níquel, sendo a platina a mais comum por ser quimicamente inerte, suporta melhor a oxidação por ser capaz de suportar temperaturas mais altas (Webster, 1999).

Uma corrente é aplicada ao RTD, a resistência elétrica acompanha a variação de temperatura, que pode ser medida através de uma curva de ajuste da variação de voltagem na resistência (Webster, 1999).

### *Termopar*

É o mais usado devido sua simplicidade e facilidade de uso. É constituído de duas barras metálicas em suas extremidades, chamadas de termoelementos. A junção das extremidades forma um circuito fechado e uma força eletromotriz (f.e.m) é produzida de acordo com a temperatura dos metais, fenômeno esse conhecido como Efeito Seebeck – força eletromotriz provocada pela junção de metais a temperaturas diferentes. Eles são classificados em B, E, J, K, T, N, R e S de acordo com sua faixa de operação (devido aos diferentes metais utilizados).

**Tabela 2 - Tabela de termopares. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)**

<b>Tipos</b>	<b>Elementos</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<b>B</b>	Platina / Ródio-Platina	870 a 1700
<b>E</b>	Cromel / Constantan	-200 a 870
<b>J</b>	Ferro / Constantan	0 a 760
<b>K</b>	Cromel / Alumel	-200 a 1260
<b>N</b>	Nicrosil / Nisil	0 a 1260
<b>R</b>	Platina / Ródio-Platina	0 a 1480
<b>S</b>	Platina / Ródio-Platina	0 a 1480
<b>T</b>	Cobre / Constantan	-200 a 370

### **2.1.4. Vazão**

A maioria das medidas de vazão dá-se através de pressão diferencial, seja por placa de orifício, tubo Venturi, dentre outras restrições no escoamento do fluido. A variação de pressão provocada por essas restrições está diretamente relacionada à vazão, segundo a equação de Bernoulli representada pela Equação 3. A equação é, na verdade, uma aproximação. A rigor, ela foi deduzida para um fluido invíscido, ou seja, sem viscosidade (White, 1998).

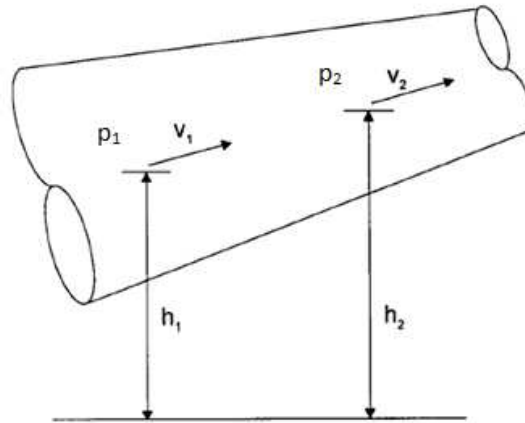


Figura 9 - Esquema para a Equação de Bernoulli. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)

Equação de Bernoulli:

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} + gh_1 = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + gh_2 \quad (3)$$

Onde  $p_i$  é a pressão no ponto  $i$ ,  $\rho$  é a densidade do fluido e  $v_i$  a velocidade no ponto  $i$  (White, 1998).

### Placa de Orifício

É o elemento mais utilizado devido sua simplicidade e baixo custo. Consiste em uma placa metálica com um orifício circular de diâmetro conhecido (Webster, 1999).

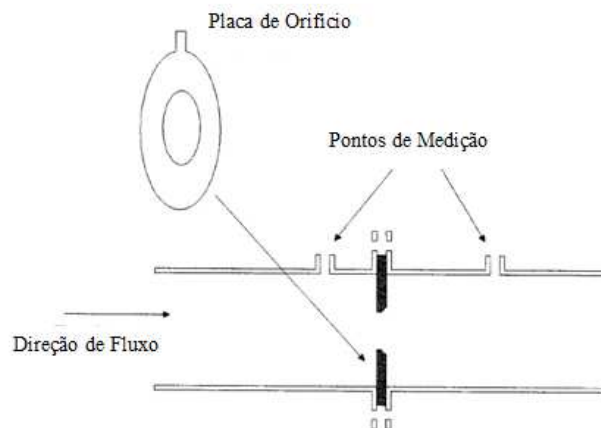


Figura 10 - Esquema da Placa de Orifício. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)

### Tubo Venturi

Esse tubo possui uma faixa que se estreita e em seguida se alarga voltando para o diâmetro inicial. Recomendado para fluidos viscosos e que apresentem sólidos em

suspensão. No entanto seu tamanho e custo elevado e torna sua implementação menos atraente (Webster, 1999).

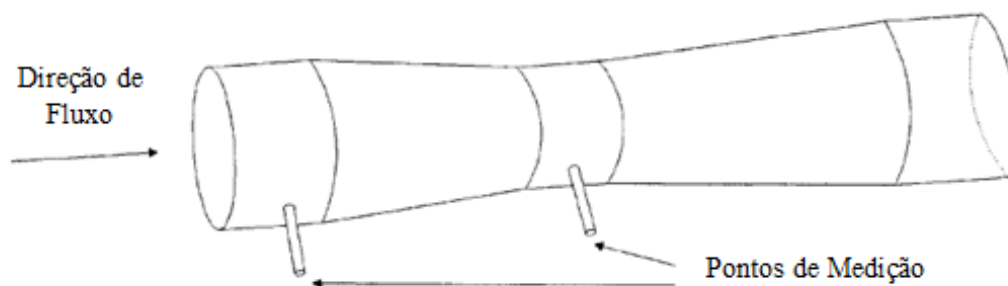


Figura 11 - Tubo Venturi. Fonte: adaptado de (Webster, 1999)

### *Efeito Hall*

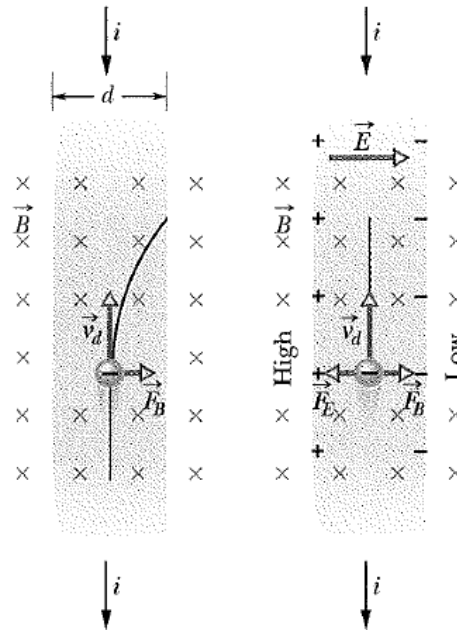
Ao mergulharmos um fio de cobre sujeito a um campo magnético, cuja direção ‘entra’ na superfície da folha, perpendicular à corrente passante pelo fio cuja direção vai do topo na página para o final, nota-se que a trajetória dos elétrons desvia-se para a direita devido o surgimento de uma força magnética provocada pelo campo magnético e a corrente, conforme a Figura 12 (Halliday, Resnick, & Walker, 2008).

Devido a essa força magnética, o lado direito do fio de cobre se acumula de elétrons, deixando esse lado negativamente carregado e o esquerdo com falta de elétrons para contrabalançar com os prótons, deixando o lado esquerdo carregado positivamente. As cargas geradas nas extremidades do fio acarretam no surgimento de um campo elétrico com suas linhas de campo indo da esquerda (lado positivo) para a direita (lado negativo) (Halliday, Resnick, & Walker, 2008).

O campo magnético resulta em uma força elétrica atuante sobre os elétrons, à medida que essa força cresce e se equipara à força magnética, os elétrons seguem seu curso anterior antes de serem desviados pela ação da força magnética. A diferença de potencial decorrente desse campo é chamada de Diferença de Potencial de Hall, por esse princípio ter sido descoberto por Edwin H. Hall em 1879 (Halliday, Resnick, & Walker, 2008).

Sensores de Efeito Hall são usados em sensores de vazão por turbinas. Há relação entre a rotação da hélice e a velocidade do fluido. Os sensores de Efeito Hall são responsáveis por produzir um pulso a cada rotação da hélice, provendo, assim a

velocidade de rotação da mesma, a qual está relacionada à velocidade do fluido (Halliday, Resnick, & Walker, 2008).



**Figura 12 – Efeito Hall. Barra de cobre de espessura  $d$  sujeita a um campo magnético  $B$  e corrente elétrica  $i$ , onde  $V_d$  é a velocidade de deriva do elétron e  $F_B$  a força magnética. Após o surgimento do campo elétrico  $E$  e força elétrica  $F_E$ , os elétrons seguem caminho original. Fonte: (Halliday, Resnick, & Walker, 2008)**

## 2.2. Elementos de Atuação

Os elementos de medição são responsáveis pela monitoração do valor atual da grandeza a ser medida. Uma vez que a mesma se encontre diferente do valor de referência, uma ação deve ser realizada. Os elementos de atuação são os agentes de ação responsáveis pela interferência no estado do sistema, uma vez aplicado um sinal de controle definindo sua ação (Dunn, Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control, 2006).

Válvulas e bombas são exemplos de elementos de atuação. Os atuadores que operam nas válvulas para controle de fluxo podem ser elétricos, pneumáticos ou hidráulicos. A seguir, serão apresentados alguns conceitos sobre válvulas de controle, válvulas solenoides, válvulas manuais e bombas (Dunn, Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control, 2006).



### 2.2.1. Válvulas de Controle

Válvulas de controle fazem parte de uma família de válvulas que não são operadas manualmente e, sim controladas continuamente. A todo o momento elas abrem ou fecham equivalentemente a ação designada às mesmas (Smith & Zappe, 2004).

Dentre as principais válvulas de controle estão as válvulas globo, borboleta, diafragma, esfera e gaveta. Suas diferenças encontram-se na forma como foram construídas (estrutura física) e na forma de resposta que cada uma gera em relação ao sinal de controle recebido (Smith & Zappe, 2004).

A válvula é formada basicamente pelo diafragma, mola, haste, 'plug' ou obturador e o corpo, conforme a Figura 13. E podem ser projetadas para operações de abertura rápida, linear, igual porcentagem e parabólica (Smith & Zappe, 2004).

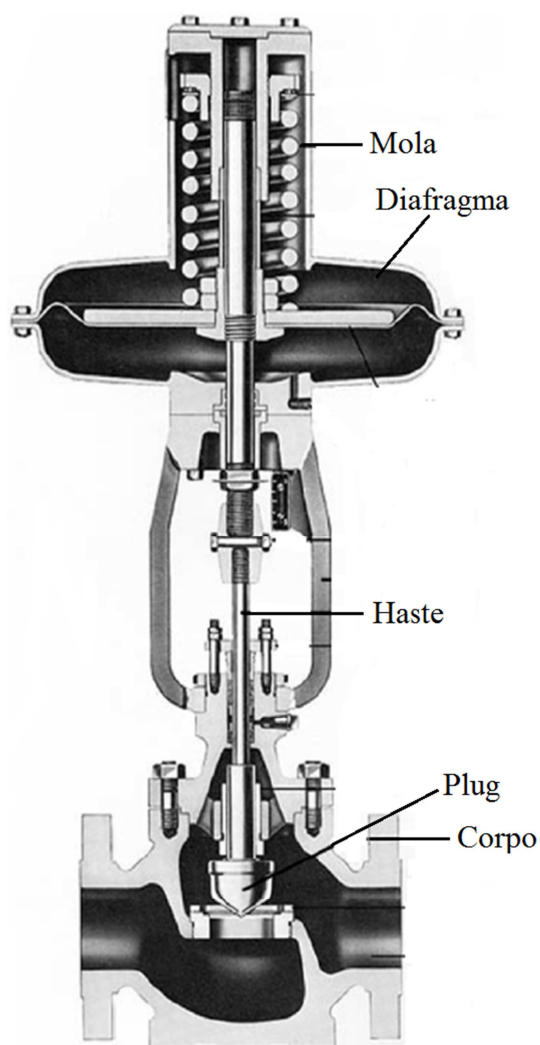


Figura 13 - Válvula de Controle. Fonte: adaptado de (Love, 2007)

### **2.2.1.1. Componentes**

O atuador fornece a força necessária para abertura ou fechamento da passagem de fluxo. Ele normalmente reúne o diafragma flexível e a mola que trabalham em conjunto, porém sempre em oposição. Quando o diafragma se expande a mola contrai-se, fazendo a haste se deslocar. Esse atuador pode ser de ação direta (ar para abrir), ou ação inversa (ar para fechar) (Smith & Zappe, 2004).

A válvula também é conhecida por seu ponto de falha, ou seja, uma vez cortado o sinal de controle da válvula. A válvula de ação direta é conhecida por Falha Fechada, ou seja, uma vez sem o suprimento pneumático, ela não terá como abrir a passagem de fluxo e permanecerá fechada, e a de ação inversa de Falha Aberta, análoga (Smith & Zappe, 2004).

O corpo é onde acontece a passagem do fluido, sendo o obturador, ou 'plug', o responsável pelo tipo de vazão, de acordo com sua forma. Conectando o corpo ao obturador, encontra-se o castelo, responsável também pela troca de calor com o ambiente externo (Smith & Zappe, 2004).

O engaxetamento é usado para válvulas do tipo globo por possuir uma haste que se desloca verticalmente, e não rotacionalmente. Ele serve de selagem para a haste, para que a mesma não se desgaste, ou o faça minimamente. Dentre os materiais mais comuns de engaxetamento estão o teflon e o grafite (Smith & Zappe, 2004).

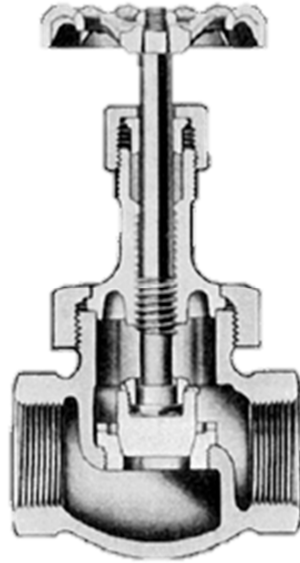
### **2.2.1.2. Tipos de Válvulas de Ação Contínua**

Como citado anteriormente, as válvulas apresentam estruturas físicas diferentes, dentre elas, apresentaremos a Válvula Globo, a Válvula Borboleta, a Válvula Diafragma, a Válvula Esfera e a Válvula Gaveta.

#### *Válvula Globo*

As válvulas do tipo globo, representadas pela Figura 14, são válvulas de deslocamento linear e podem possuir atuadores elétricos, hidráulicos ou pneumáticos, sendo estes os mais comuns. De acordo com a forma do seu obturador, ela pode ser de abertura rápida, linear ou igual porcentagem (Smith & Zappe, 2004).

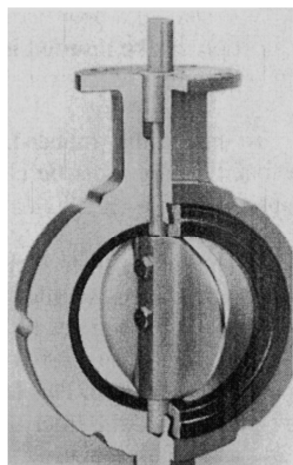
Dentre as válvulas globo podem ser encontradas válvulas de sentido duplo de fluxo (atuam em dois sentidos) e válvula de 3 vias (pode-se escolher as vias que estarão abertas ou fechadas) (Smith & Zappe, 2004).



**Figura 14 - Válvula Globo. Fonte: (Smith & Zappe, 2004)**

### *Válvula Borboleta*

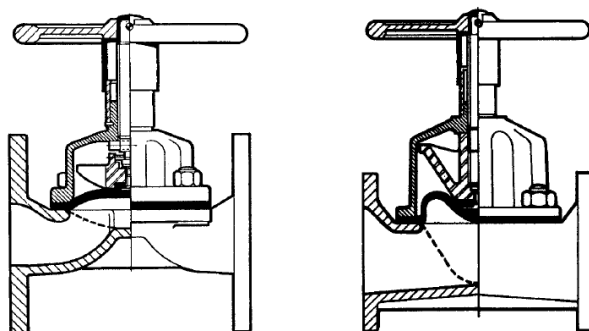
A válvula do tipo borboleta, vide Figura 15, possui haste giratória ( $0^\circ$  a  $90^\circ$  de abertura), ou seja, deslocamento rotativo, e até 50% de sua abertura ela possui características de válvula de igual porcentagem e após essa medida, como linear. São de baixo custo e bem vedadas quando totalmente fechadas (Smith & Zappe, 2004).



**Figura 15 - Válvula Borboleta. Fonte: (Smith & Zappe, 2004)**

## *Válvula Diafragma*

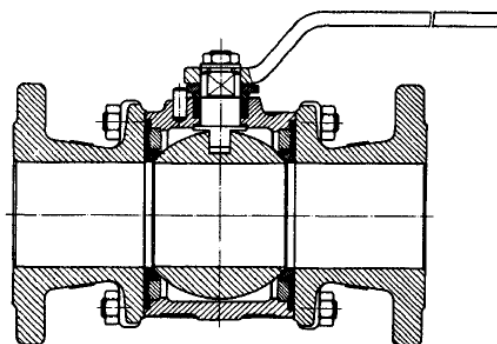
A válvula diafragma possui corpo flexível e é também de deslocamento linear. Sua passagem de fluxo pode ser do tipo sela ou reto, conforme a Figura 16. Por causa de seu formato, a válvula do tipo sela aumenta a vida útil do diafragma por reduzir sua flexão. Ao contrário do tipo sela, a válvula reta requer maior flexão do diafragma, por isso, seu material deve ser mais elástico. Ambas são usadas na indústria farmacêutica ou de alimentos (Smith & Zappe, 2004).



**Figura 16 - Válvula Diafragma do tipo sela à esquerda e reta à direita. Fonte: (Smith & Zappe, 2004)**

## *Válvula Esfera*

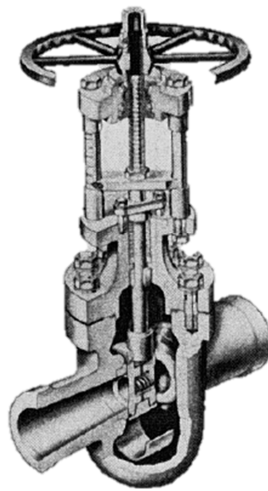
A válvula esfera é uma válvula de deslocamento rotativo e possui um orifício que permite a passagem de fluido por seu interior como representada na Figura 17. Quando rotacionada, o orifício encontra-se perpendicular ao fluxo, impedindo a passagem do fluido. Ela é bastante usada em residências e ideal para controle ON-OFF. Devido à sua forma, ela suporta sólidos em suspensão no fluido, no entanto não deve ser usada para fluidos abrasivos com risco de danificar a esfera (Smith & Zappe, 2004).



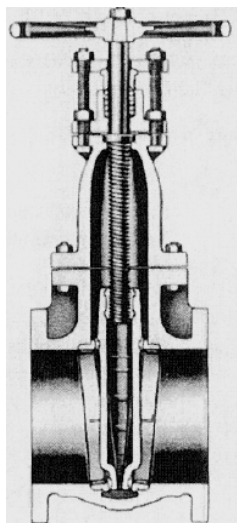
**Figura 17 - Válvula Esfera. Fonte: (Smith & Zappe, 2004)**

## *Válvula Gaveta*

As válvulas gaveta são válvulas cujo obturador possui um formato de cunha ou paralelo que desliza para cima para habilitar a passagem de fluxo pela mesa, normalmente usadas completamente abertas ou completamente fechadas, elas podem ser paralelas, representada na Figura 18, ou de forma de cunha, como mostrado na Figura 19. Quando totalmente abertas, as válvulas gaveta oferecem perda de carga mínima, ou seja, baixa resistência ao fluxo, sendo possível a passagem de fluido com sólidos em suspensão (Smith & Zappe, 2004).



**Figura 18 - Válvula Gaveta Paralela. Fonte: (Smith & Zappe, 2004)**



**Figura 19 - Válvula Gaveta tipo Cunha. Fonte: (Smith & Zappe, 2004)**

## 2.2.2. Característica da Válvula

A relação entre o fluxo passante pela válvula e a abertura da mesma é chamada característica da válvula. Há diferentes características de vazão que podem ser obtidas de acordo com o tipo de válvula usado. Para as válvulas do tipo globo, o que determina essa característica é o formato de seus obturadores, já para as válvulas borboleta e esfera, essa característica é determinada pelo elemento que veda a sede (Smith & Zappe, 2004).

Dentre elas estão:

### *Abertura Rápida*

Prevê uma resposta rápida à abertura da válvula, ou seja, a diferença de vazão torna-se mais sensível com a válvula pouco aberto do que muito aberta. Com apenas 25% de abertura da válvula, a vazão passante é quase total (SENAI, 2003).

### *Raiz Quadrada*

Assim como a de abertura rápida ela também apresenta grande variação de fluxo para uma pequena abertura. Até aproximadamente 25% de sua abertura, a válvula desse tipo possui comportamento linear e a partir de 40% sua não-linearidade cresce rapidamente (Smith & Zappe, 2004).

### *Linear*

A vazão do fluido é diretamente proporcional à abertura da válvula (SENAI, 2003).

### *Igual Porcentagem*

A vazão que passa pela válvula é proporcional à porcentagem de abertura da mesma, seguindo a curva descrita pela Figura 20 (SENAI, 2003).

Na Figura 20 pode ser observada graficamente a diferença entre quatro tipos de vazão.

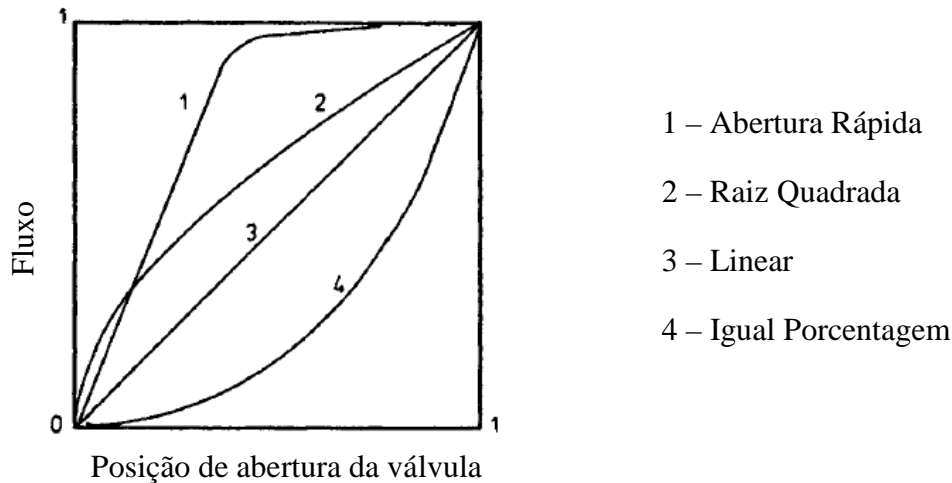


Figura 20 – Gráfico Fluxo x Posição de abertura da válvula. Fonte: adaptado de (Smith & Zappe, 2004)

### 2.2.3. Válvulas Solenoides

Válvulas solenoides são conhecidas pelo controle ON-OFF. Elas possuem apenas esses dois estados determinados pela bobina solenoide, ou completamente aberta ou completamente fechada, não havendo estágios intermediários. A bobina é responsável pela conversão da energia elétrica em mecânica, uma força é produzida acionando a haste da válvula realizando o seu abrir ou fechar.

### 2.2.4. Válvulas Manuais

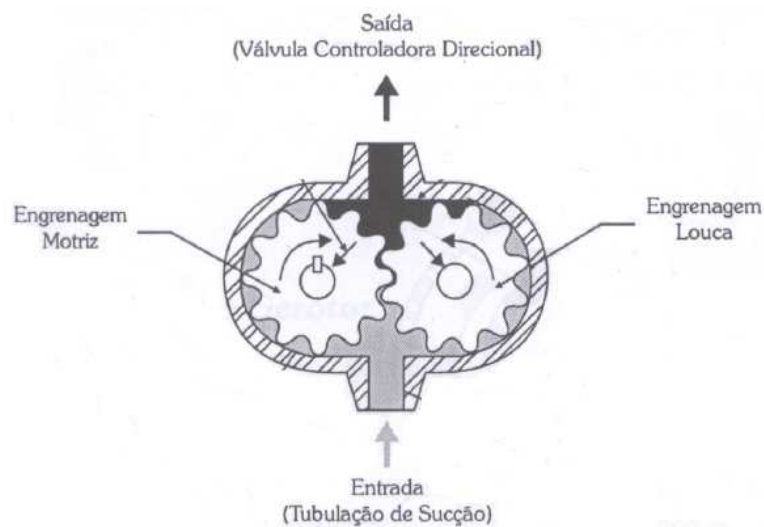
As válvulas manuais são operadas localmente necessitando da intervenção de um usuário. Nos processos, elas normalmente são usadas para inibir ou permitir o fluxo, controle de vazão ou direção do fluxo (Smith & Zappe, 2004).

### 2.2.5. Bombas

As bombas são também elementos de atuação, elas realizam trabalho sobre o fluido, convertendo energia elétrica em mecânica e são capazes de fornecer a vazão requerida à linha atuante. Elas permitem o deslocamento do fluido sem gerar aumento de velocidade em seu interior. As bombas de deslocamento positivo ou volumétrica deslocam um volume fixo por rotação, operando em baixas vazões e pressões altas. Existem três tipos de bombas hidráulicas, são elas as bombas de engrenagens, de palhetas e de pistão (Fialho, 2004).

## *Bomba de Engrenagens*

A bomba de engrenagens consiste em duas engrenagens, uma engrenagem ligada ao eixo do motor, chamada de engrenagem motriz e a outra atrelada a ela sendo movimentada pelo giro da primeira engrenagem, consequência de estar ligada ao eixo, sendo ilustrada na Figura 21. O fluido passa pelos dentes das engrenagens (Fialho, 2004).

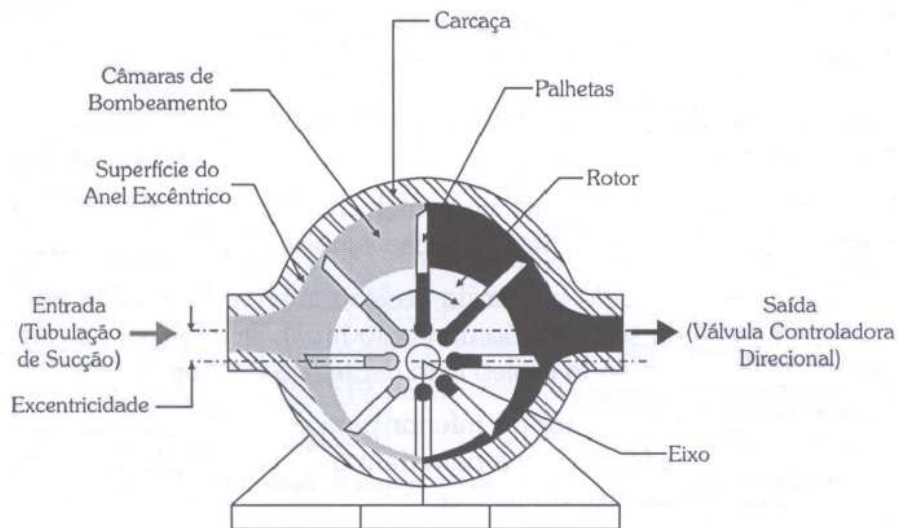


**Figura 21 - Bomba a engrenagens. Fonte: adaptado de (Fialho, 2004)**

## *Bomba de Palhetas*

A bomba de palhetas, conforme a Figura 22, consiste em um rotor com ranhuras, onde as palhetas são encontradas dentro de um anel externo não concêntrico. Assim, à medida que o rotor rotaciona, as palhetas movem-se para cima e para baixo dentro do mesmo, entrando em contato a cada 'subida' e abstendo-se do mesmo a cada 'descida'.

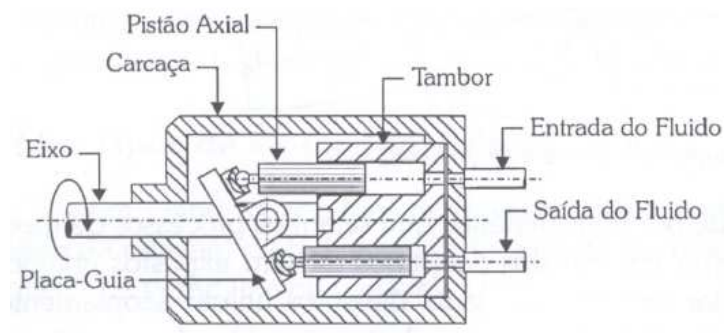




**Figura 22 - Bomba a palheta. Fonte: (Fialho, 2004)**

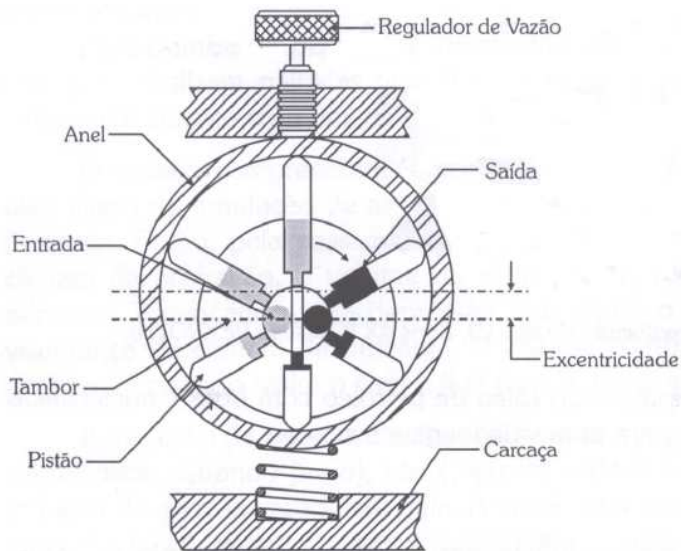
### *Bombas de Pistão*

A bomba de pistão é a que utiliza pistões para criar um semivácuo e bombear a água, eles são de dois tipos mais comuns, o radial e o axial. A Figura 23 ilustra a bomba de pistão axial, que possui o platô inclinado, superfície onde são acoplados os pistões, paralelos ao eixo. À medida que o eixo principal gira, o cilindro onde estão contidos os pistões também gira, fazendo com que os pistões ‘subam’ e ‘desçam’ em seus cilindros. O volume de fluido deslocado é proporcional à inclinação do platô. Onde a inclinação zero implica em deslocamento mínimo (Fialho, 2004).



**Figura 23 - Bomba a pistão axial. Fonte: (Fialho, 2004)**

No caso de uma bomba de pistão radial, observada na Figura 24, os pistões estão acoplados a uma carcaça externa e a um cilindro excêntrico ao eixo principal. À medida que o eixo gira, esse cilindro translada, porém não rotacional, empurrando os pistões na parte em que a distância até o eixo é maior (Fialho, 2004).



**Figura 24 - Bomba a pistão radial. Fonte: (Fialho, 2004)**

## **2.3. Tecnologias de Transmissão Eletro-Eletrônica**

Existem diferentes tipos de instrumentos, com formas de operação diversificadas. Dentre os tipos de sinais que os instrumentos podem processar, encontram-se o analógico e o digital, por meio de três técnicas diferentes. Ora usando a própria técnica analógica em sinais analógicos, ora convertendo o sinal analógico-digital, ora tratando o sinal digital de forma digital (Lipták, 2006).

Os sinais analógicos são definidos para todos os valores de tempo, enquanto os digitais operam com valores discretos (Lipták, 2006).

### **2.3.1. 4 a 20 mA**

É um sinal analógico que apresenta menor susceptibilidade à interferência magnética. Esse sistema de controle permite a comunicação entre o sistema de controle e os instrumentos. Porém é um sistema unidirecional. As informações dos instrumentos são passadas para o sistema de controle (Lipták, 2006).

Os instrumentos de campo, como os transmissores, transmitem o sinal pela linha. Em resposta ao sinal, o controlador - normalmente um CLP (Controlador Lógico Programável) – envia um sinal para os atuadores agirem, fechando ou abrindo alguma válvula ou ligando ou desligando uma bomba, por exemplo (Fieldbus Foundation, 2014).

### **2.3.2. Fieldbus**

Ao contrário do sinal analógico 4 a 20 mA, a Foundation Fieldbus é uma rede de comunicação digital industrial bidirecional, sendo capaz de integrar os instrumentos de campo pela sua rede local podendo monitorá-los e controlá-los . Ela é mais robusta e oferece mais recursos que o sinal 4 a 20 mA e também usa de CLPs (Fieldbus Foundation, 2014).

### **2.3.3. Controlador**

Os CLPs são controladores e atuam em tempo real. Eles recebem as entradas analógicas e digitais vinda dos instrumentos de campo e geram o sinal de saída para os atuadores. O processo todo pode ser acompanhado pelos operadores, que podem executar alguma ação em resposta a um dado (Fieldbus Foundation, 2014).

## **2.4. Arduino**

Idealizado na Itália, por volta de 2005 pelos pesquisadores Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis, na cidade de Ivrea, o Arduino teve como ideologia atender aos estudantes em seus projetos acadêmicos e aos pesquisadores amadores por ser mais econômico. Arduino é uma placa eletrônica de plataforma gratuita e de fácil uso que possui um microcontrolador (equivalente a uma central), entradas e saídas digitais e analógicas e de linguagem basicamente C/C++, podendo comunicar-se com um computador ou atuar sozinho (Arduino, 2014).

Seu *software* roda nos sistemas operacionais Windows, Macintosh OSX e Linux, conectando-se através de um cabo USB. A ideia de ‘ciência em casa’ e baixo custo são seus grandes atrativos e representam a proposta da plataforma. Ele recebe a entrada dos diversos sensores e gera sinais de saída para os elementos de atuação (Arduino, 2014).

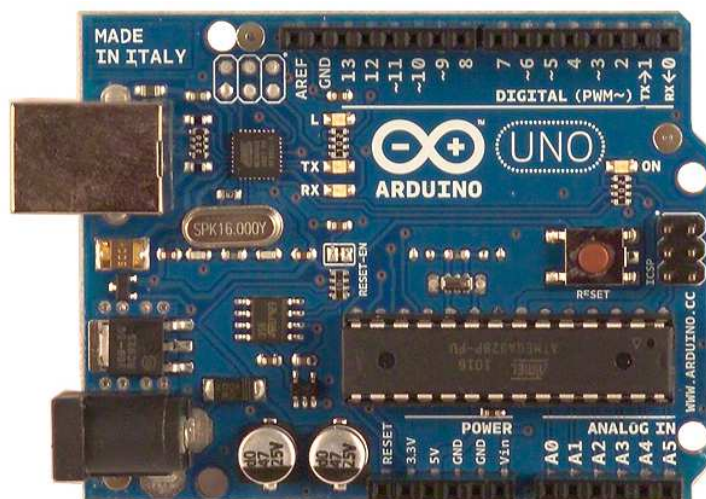


Figura 25 - Placa Arduino. Fonte: (Arduino, 2014)

## 2.5. Grau de Proteção IP

Equipamentos elétricos, como os utilizados nesse trabalho sendo o caso dos transmissores e válvulas solenoides, requerem diferentes tipos de proteção de acordo com o ambiente a ser operado. Essa informação deverá ser levada em conta na hora da compra do equipamento (IEC, 2001).

A IEC – *International Electrotechnical Commission* - define algumas medidas de proteção, como o Grau de Proteção, designado por 'IP xx', onde IP - *Index of Protection* - significa grau de proteção e os dois dígitos numéricos, indicados pelo 'xx', representam diferentes tipos de proteção como as listadas na Tabela 3 e Tabela 4 segundo a norma IEC 60529 (IEC, 2001).

**Tabela 3 - Tabela Grau de Proteção - primeiro dígito. Fonte: adaptado de (IEC, 2001)**

<b>Primeiro Dígito</b>		
<b>Dígito</b>	<b>Descrição</b>	<b>Proteção Dada</b>
0	Não protegido	Sem proteção especial
1	Protegido contra objetos sólidos maiores que 50 mm	Grande superfície de corpo humano como a mão. Nenhuma proteção contra a penetração liberal no equipamento
2	Protegido contra objetos sólidos maiores que 12 mm	Dedos ou objetos de comprimento maior do que 80 mm, cuja menor dimensão é maior do que 12 mm
3	Protegido contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm	Ferramentas, fios, etc, de diâmetro e espessura maiores que 2,5 mm, cuja menor dimensão é maior que 2,5 mm
4	Protegido contra objetos sólidos maiores que 1,0 mm	Fios, fitas de largura maior do que 1,0 mm, objetos cuja menor dimensão seja maior do que 1,0 mm
5	Proteção relativa contra poeira e contato a partes internas ao invólucro	Não totalmente vedado contra poeira, mas se penetrar não prejudicará o funcionamento do equipamento
6	Totalmente protegido contra penetração de poeira e contato a partes internas ao invólucro	Não é esperada nenhuma penetração de poeira no interior do invólucro.

**Tabela 4 - Tabela Grau de Proteção - segundo dígito. Fonte: adaptado de (IEC, 2001)**

<b>Segundo Dígito</b>		
<b>Dígito</b>	<b>Descrição</b>	<b>Proteção Dada</b>
0	Não protegido	Nenhuma proteção especial. Invólucro aberto
1	Protegido contra queda vertical de gotas de água	Gotas de água caindo na vertical não prejudicam o equipamento, condensação
2	Protegido contra queda de água com inclinação de 15° com a vertical	Gotas de água não tem efeito prejudicial para inclinações de até 15° com a vertical
3	Protegido contra água aspergida	Água aspergida de 60° com a vertical não tem efeitos prejudiciais ao equipamento
4	Protegido contra projeções de água	Água projetada de qualquer direção não tem efeito prejudicial
5	Protegido contra jatos de água	Água projetada por bico em qualquer direção não tem efeitos prejudiciais sobre o equipamento
6	Protegido contra ondas do mar	Água em forma de onda, ou jatos potentes não tem efeitos prejudiciais ao equipamento
7	Protegido contra os efeitos de imersão	Sob certas condições de tempo e pressão não há penetração de água. Ex: inundações
8	Protegido contra submersão	Adequado à submersão contínua sob condições específicas. Ex: equipamento submerso

Como observado pelas tabelas anteriores, o grau de proteção IP inerente ao aparelho indicará sob quais condições o mesmo poderá ser usado sem sofrer dano.

### **3. Metodologia**

Para alcançar o objetivo proposto, um diagrama do processo principal da bancada é criado utilizando o programa Visio®. A partir desse diagrama, são definidas a planta e suas subdivisões. Após a criação da planta, são analisados seus componentes e levantados os equipamentos necessários para a montagem da bancada proposta.

São analisadas algumas tecnologias utilizadas para a comunicação dos equipamentos e junto com a análise de propostas dos possíveis fornecedores, é escolhida a melhor proposta/tecnologia juntamente com o valor final da bancada.

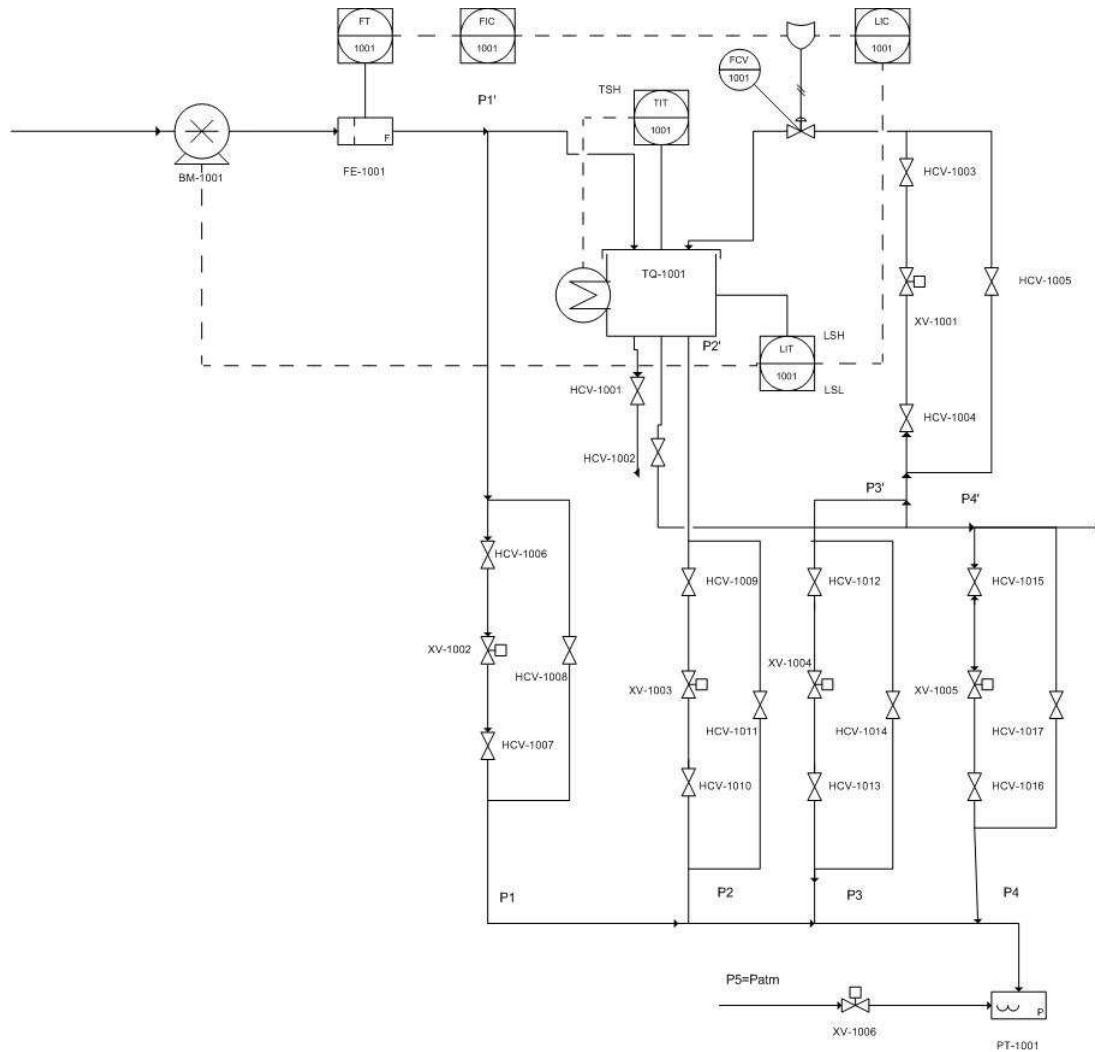
#### **3.1. Processo Industrial**

A planta, apresentada na Figura 26 e encontrada no Anexo I, foi criada com a ajuda do *software* Visio® e representa um processo de aquecimento e reciclo de água. O processo é dividido em dois subsistemas, o subsistema de Processo, que representa o aquecimento de água e seu reciclo, e o subsistema de Medição de Pressão. Associado ao subsistema de Processo existe um fluxo de entrada que alimenta o tanque, o mesmo é aquecido por uma resistência elétrica. Uma parte da água do tanque é usada para reciclo, sendo esta corrente manipulada por uma válvula de controle e a outra é descartada.

O subsistema de Processo foi desenvolvido no presente projeto de forma a apresentar malhas de controle contínuo, onde a válvula atuante sobre a linha que leva a água de reciclo de volta ao tanque é comandada por dois controladores, o de nível do tanque e o de vazão de água presente na linha de entrada do tanque. Optou-se por um seletor digital a fins didáticos, ora a válvula responde ao controlador de nível, ora ao controlador de vazão, definido pelo usuário.

Foram definidas, ainda, lógicas de intertravamento de segurança, onde o nível de água no tanque possui intertravamento com a bomba. Caso o nível de água do tanque atinja um limite inferior definido pelo usuário, a bomba é ligada e o contrário acontece. Caso o nível de água do tanque atinja um limite superior, a bomba é desligada. A bomba pode também ser operada de forma manual através de um botão remoto.

Existe também um intertravamento com a resistência elétrica. A mesma é desligada caso a temperatura atinja um limite superior previamente determinado pelo usuário, para não superaquecer a água, mantendo a segurança no processo, apesar do fluido não ser inflamável. Os intertravamentos serão explicados posteriormente.



**Figura 26 - Planta geral do Processo Industrial.**

Retirando-se o subsistema de Medição de Pressão e destacando-se apenas o subsistema de Processo, referente aqui ao ciclo de aquecimento no tanque e o reciclo de água, obtém-se a Figura 27 abaixo:



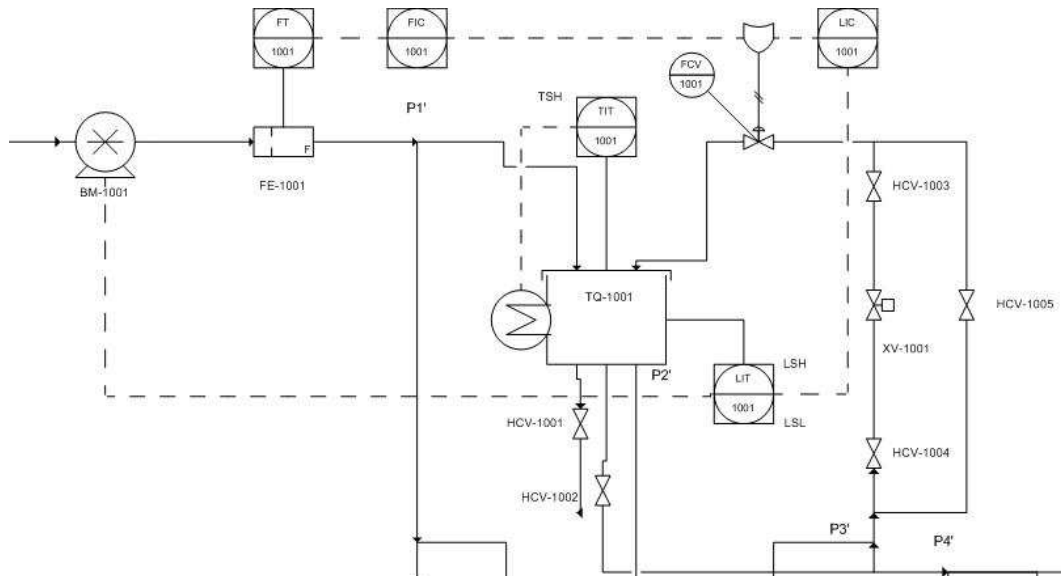
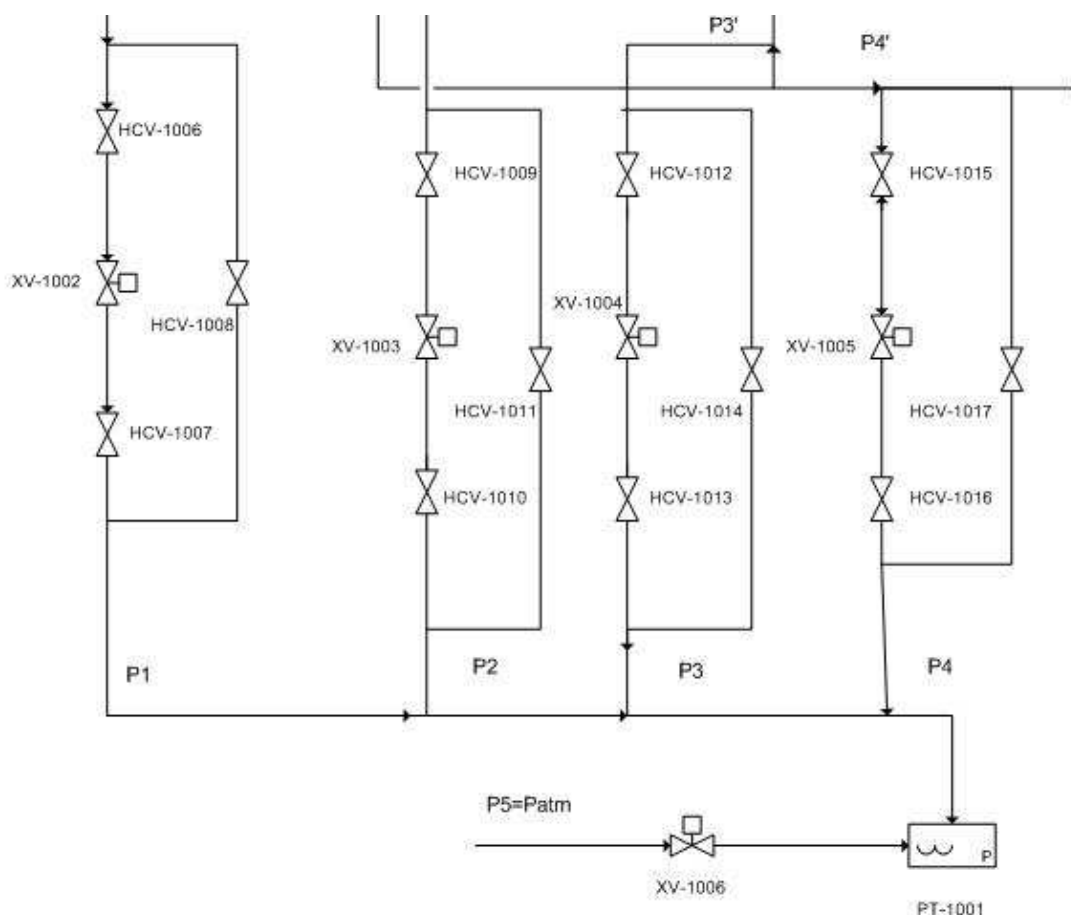


Figura 27 – Subsistema de Processo.

### 3.2. Subsistema de Medição de Pressão

O subsistema de Medição de Pressão é composto pelas válvulas solenoides e por um sistema seletor. Uma parte da água do tanque é usada para a medição de pressão diferencial ou absoluta. As pressões a serem comparadas são P1, P2, P3, P4 e P5, sendo a última a pressão atmosférica. Serão medidos os valores absolutos e os valores relativos à pressão atmosférica. As pressões estão representadas na Figura 28 a seguir.



**Figura 28 – Subsistema de Medição de Pressão.**

Sendo P1 a pressão de entrada da água no tanque, P2 a pressão no fundo do tanque, P3 a pressão de entrada da água de reciclo, P4 a pressão da água de descarte e P5 a pressão atmosférica.

Um botão remoto será usado para selecionar qual das válvulas solenoides será aberta para a medição de pressão daquele ponto e o fechamento ou abertura de XV-106 irá definir se será medida a pressão absoluta ou será feita a comparação em relação à pressão atmosférica. Será tratado posteriormente no tópico Intertravamento.

### *Medição Individual em Diversos Pontos da Planta*

As pressões nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5 poderão ser medidas em seu valor absoluto, ou a variação das pressões em comparação com a pressão atmosférica, aqui representada pela pressão P5 utilizando um único medidor de pressão diferencial que irá atender a solicitação proposta.

### **3.3. Malhas de Controle Contínuo**

Tem-se duas malhas de controle contínuo que atuam sobre a válvula de controle. A primeira malha é a malha de controle de nível. Um transmissor indicador de nível (LIT-1001) é utilizado para monitorar o nível de água do tanque. Relacionado ao mesmo, existe a lógica de controle de nível (LIC-1001) atuante sobre a abertura da válvula impedindo que haja transbordamento de água e garantindo a entrada de água já aquecida.

A segunda malha é a de controle de vazão. Um medidor de vazão (FT-1001) é instalado na linha de entrada do tanque, após a bomba, com ajuda de uma placa de orifício a qual gera queda de fluxo da linha permitindo assim a medição do fluxo através da diferença de pressão provocada. O controlador de vazão (FIC-1001) atua sobre a válvula de controle controlando o fluxo de reciclo para melhor atender os interesses do usuário.

Existe um seletor digital atuante sobre as malhas de controle, o usuário determinará qual malha de controle estará atuante. Ora a malha de controle de nível, ora a malha de controle de vazão irá controlar a válvula de controle.

### **3.4. Intertravamento**

Para os dois subsistemas existem intertravamentos que possibilitam a realização da lógica de controle e a de medição de pressão. No subsistema de Processo, associado ao tanque e às malhas de controle, tem-se o intertravamento com a bomba. O transmissor de nível possui dois valores de chave. LSH (“*Level Switch High*” – Chave Nivel Alto) para um limite superior de nível e LSL (“*Level Switch Low*” – Chave de Nivel Baixo) para um limite inferior de nível. Uma vez atingido o valor superior – LSH – a bomba é desligada. E uma vez atingido o limite inferior, a bomba é ligada.

Esse intertravamento é um controle de nível para evitar transbordamento além de evitar desperdício ao se aquecer um nível baixo de água, assim como uma medida de segurança.

Outro intertravamento do subsistema de Processo é entre o transmissor de temperatura e a resistência elétrica. O transmissor de temperatura, assim como o de nível, possui um valor de chave superior, TSH (“*Temperature Switch High*” – Chave de Temperatura Alta) permitindo que, uma vez que haja detecção de temperatura maior ou

igual à determinada no TSH, envie-se um comando para que a resistência seja desligada, por medidas de segurança.

No subsistema de Medição de Pressão existe outro intertravamento. O seletor ‘comunica-se’ com as válvulas solenoides responsáveis pelas linhas de fluxo onde serão medidas as pressões em pontos diferentes do processo. Esse intertravamento determinará qual válvula será aberta e quais serão fechadas. Esse mesmo intertravamento também determina se haverá comparação em relação à pressão atmosférica.

## 4. Resultados

Com ajuda do *software* Visio® foi possível desenvolver o Diagrama P&I equivalente da planta, assim como a divisão em camadas. Uma vez projetado, foi possível contabilizar os instrumentos que foram agrupados conforme função (sensores, válvulas de controle, válvulas solenoide, bomba e válvulas manuais). O levantamento do número de instrumentos necessários e uma projeção de custos fixos de implementação fazem parte dos resultados esperados para o projeto proposto.

### 4.1. Desenvolvimento do Diagrama P&I

O *software* Visio® é uma ferramenta importante na criação de fluxogramas, organogramas e diagramas. Os projetos nele desenvolvidos – a planta adotada inicialmente e a planta para implantação futura - encontram-se disponíveis nos anexos.

#### 4.1.1. Camadas

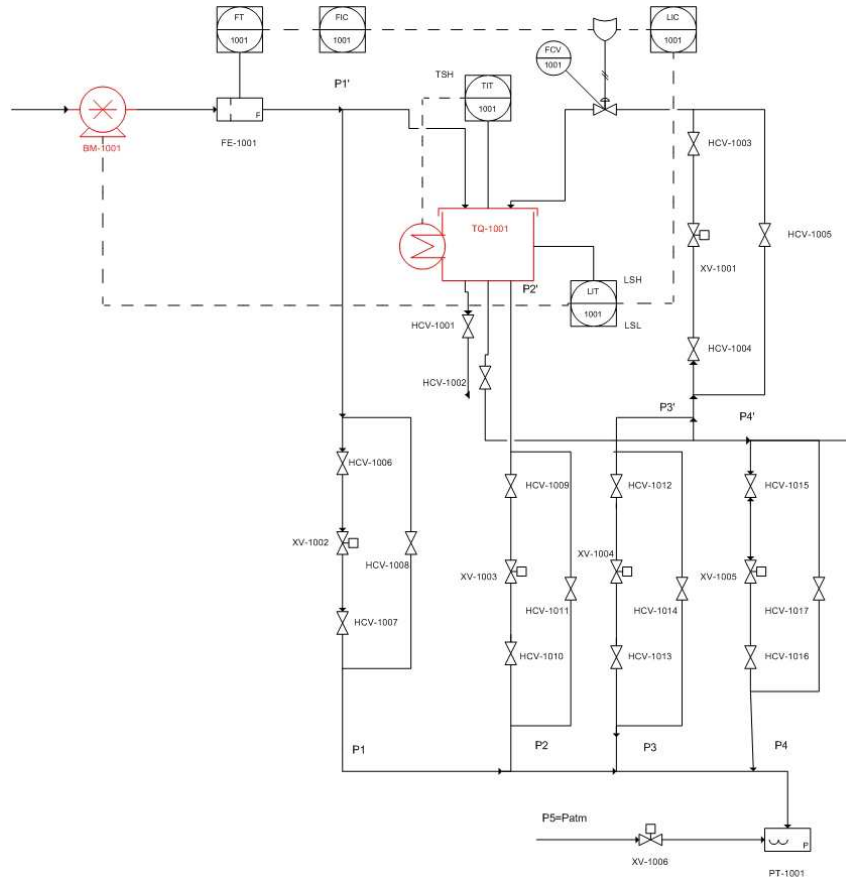
No Visio® é possível organizar seu fluxograma em camadas, as quais são pré-determinadas de acordo com o grupo do elemento a ser utilizado. No entanto, é possível criar novas camadas, para facilitar a organização demandada pelo projeto. É possível também destacar ou esconder cada camada.

As camadas usadas no projeto são: Equipamento, Instrumento, Linhas de Sinal, Medição, Tubulações e Válvula, descritas abaixo.

**Tabela 5 - Tabela de descrição das Camadas**

<b>Camada</b>	<b>Descrição</b>
Equipamento	equipamentos utilizados para a realização do processo como a bomba, o tanque e a resistência elétrica
Instrumento	instrumentos usados como os sensores, o controlador, a placa de orifício e o seletor digital
Linhas de Sinal	linhas de transmissão dos sinais, sejam elétrico, pneumático ou outro
Medição	equipamentos relacionados ao subsistema de Medição de Pressão incluindo válvulas, tubulações e sensores
Tubulações	tubulações de passagem de fluido do processo
Válvula	válvulas manuais, solenoides ou de controle usadas na planta

A camada Equipamento, destacada na Figura 29, mostra os elementos como a bomba, o tanque e a resistência elétrica, discriminados na Tabela 6.

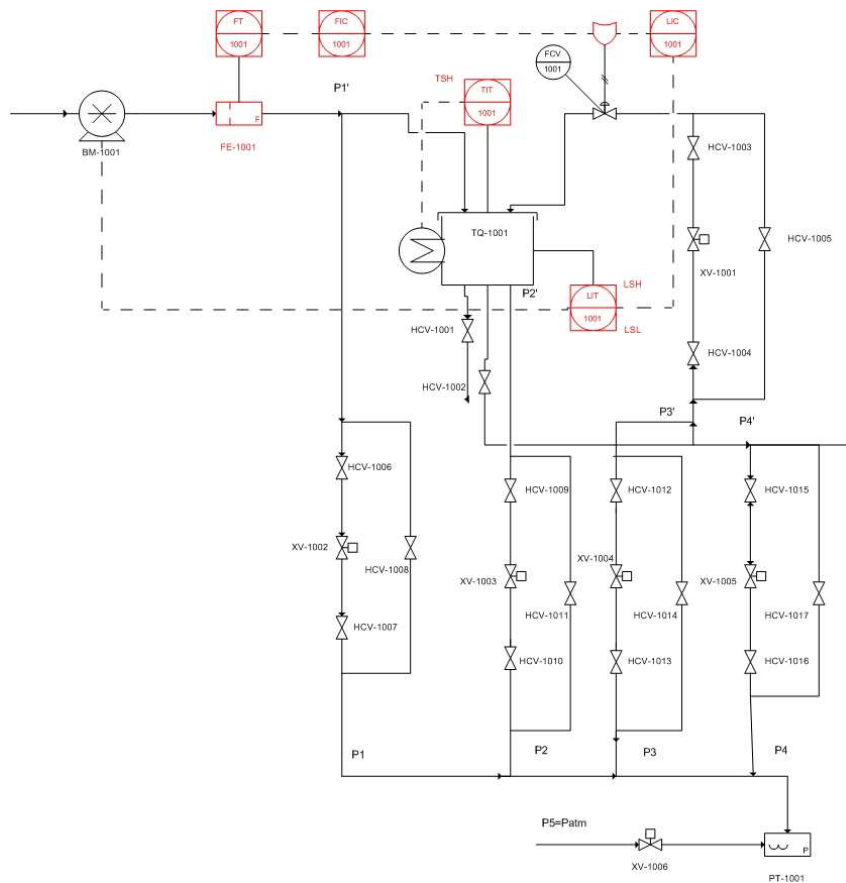


**Figura 29 - Camada Equipamento destacada.**

**Tabela 6 - Elementos associados à Camada Equipamento**

Camada	Elementos da Camada
Equipamento	BM-1001
	TQ-1001
	Resistência Elétrica

Na camada Instrumento, observada na Figura 30, estão os sensores, o controlador, a placa de orifício e o seletor digital discriminados na Tabela 7.

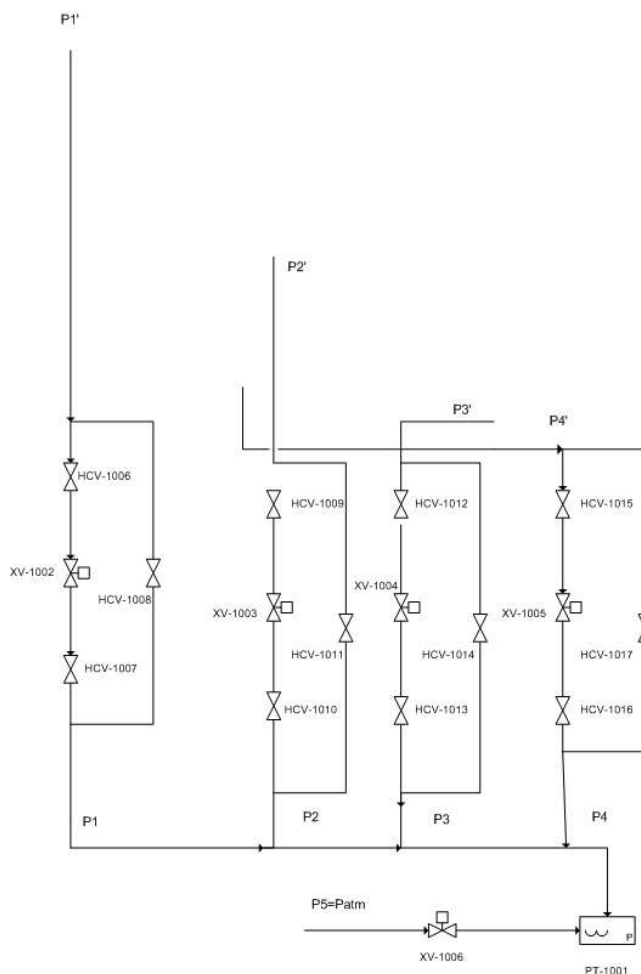


**Figura 30 - Camada Instrumento destacada.**

**Tabela 7 - Elementos associados à Camada Instrumento**

Camada	Elementos da Camada
Instrumento	FT-1001, LIT-1001, TIT-1001
	LIC-1001
	FE-1001
	Seletor Digital
	PT-1001

A camada Medição foi criada para agrupar os elementos que compõem o subsistema de Medição de Pressão visando melhor organização do projeto. Esses instrumentos possuem duas camadas, a de origem, seja ela Válvula, Instrumentos, Tubulação e demais e a própria camada Medição. Na Figura 31 foram ocultadas as demais camadas, permanecendo apenas a camada Medição visível, seus elementos estão discriminados na Tabela 8.



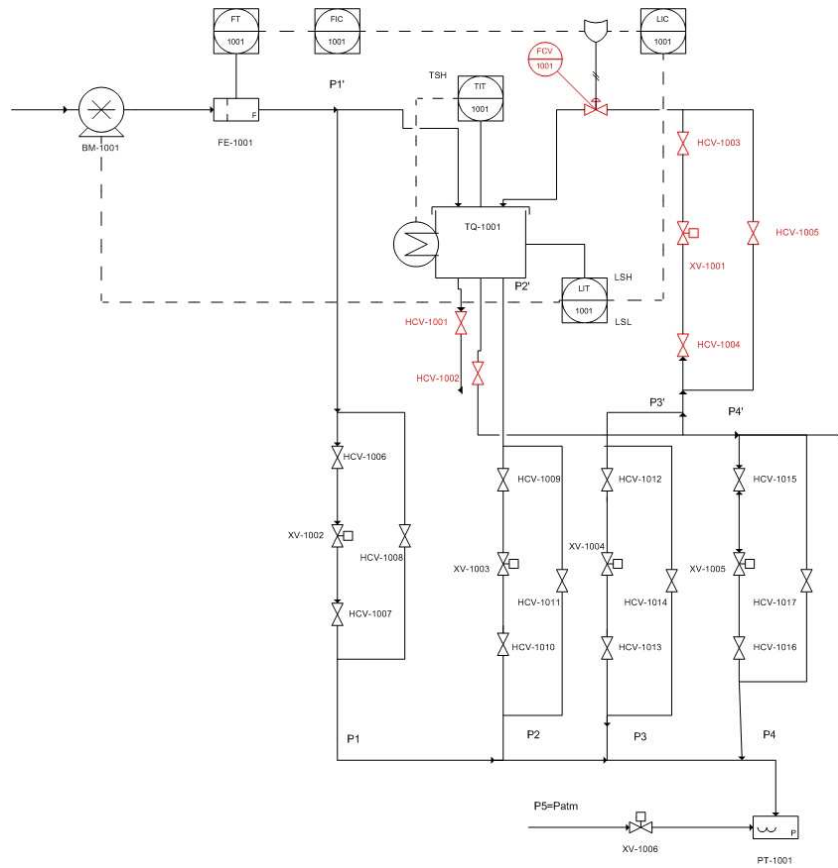
**Figura 31 - Camada Medição visível.**

**Tabela 8 - Elementos associados à Camada Medição**

<b>Camada</b>	<b>Elementos da Camada</b>
Medição	HCV-1006, HCV-1007, HCV-1008, HCV-1009, HCV-1010, HCV-1011, HCV-1012, HCV-1013, HCV-1014, HCV-1015, HCV-1016, HCV-1017
	XV-1002, XV-1003, XV-1004, XV-1005, XV-1006
	PT-1001

Na camada Válvulas estão todas as válvulas manuais ou de controle. A Figura 32 destaca as válvulas não pertencentes à camada de Medição. A Tabela 9 apresenta todos os elementos associados a essa camada.





**Figura 32 - Camada Válvula destacada.**

**Tabela 9 - Elementos associados à Camada Válvula**

<b>Camada</b>	<b>Elementos da Camada</b>
<b>Válvula</b>	HCV-1001, HCV-1002, HCV-1003, HCV-1004, HCV-1005, HCV-1006, HCV-1007, HCV-1008, HCV-1009, HCV-1010, HCV-1011, HCV-1012, HCV-1013, HCV-1014, HCV-1015, HCV-1016, HCV-1017
	XV-1001, XV-1002, XV-1003, XV-1004, XV-1005, XV-1006
	FCV-1001

### 4.1.2. Planta Proposta 1

A proposta inicial era a comparação entre quaisquer dois pontos dos cinco pontos definidos. Porém, o custo seria muito elevado como será abordado mais à frente. O subsistema de Medição de Pressão seria conforme a Figura 33. Seu orçamento e lógica serão estudados em tópico futuro.

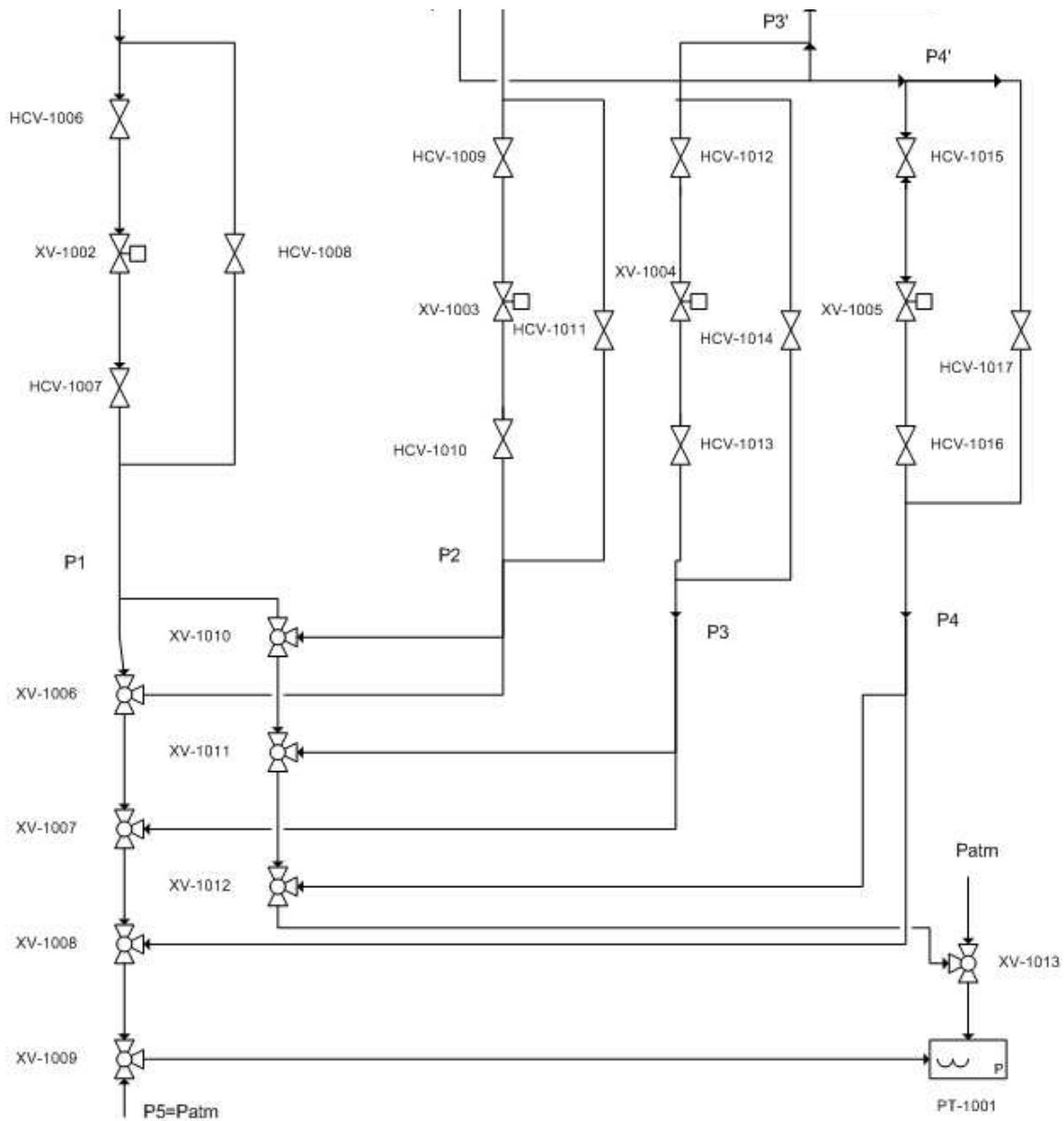


Figura 33 - Esquema de Medição de Pressão da Proposta 1

### **4.1.3. Planta Proposta 2**

Visando a redução do preço final, o projeto será baseado na adaptação da planta ideal, limitando assim, as comparações entre as pressões. Os intertravamentos, lógicas e esquemas apresentados anteriormente referem-se à planta adaptada, representada pela Figura 26 e pelo Anexo I.

## **4.2. Levantamento de Instrumentos**

Com base no que foi proposto anteriormente serão levantados e analisados os instrumentos usados no processo industrial separados pelos blocos Medição e Atuação em suas respectivas tabelas de acordo com a necessidade do projeto.

### **4.2.1. Medição**

No projeto em questão existem quatro tipos de instrumentos de medição, são eles: medição de nível, vazão, temperatura e pressão, representados na Tabela 10.

**Tabela 10 - Tabela dos instrumentos de medição**

<b>TAG</b>	<b>Descrição</b>	<b>Faixa</b>
LIT-1001	Mede o nível de água no tanque	0 a 1m de água
FT-1001	Mede a vazão de entrada de água no tanque	0 a 50 ml/s
TIT-1001	Mede a temperatura da água no tanque	0°C a 100°C
PT-1001	Mede as pressões diferenciais e absolutas P1, P2, P3, P4 e P5	0 a 3m coluna de água

## 4.2.2. Atuação

Tem-se a bomba BM-1001 na entrada do processo que fornece água para o tanque, ela é ligada ou desligada de acordo com o nível atual do tanque, medido pelo transmissor de nível, conforme a Tabela 11.

**Tabela 11 - Tabela de bomba**

<b>TAG</b>	<b>Descrição</b>	<b>Faixa</b>
BM-1001	Bombeamento de água para o tanque	0 a 50 ml/s

Tem-se também uma válvula de controle FCV-1001, vide Tabela 12, como elemento de atuação, ela controla a vazão da água de reciclo que volta para o tanque de acordo com o controle sobre ela aplicado, podendo ser o de nível do tanque ou o de vazão de entrada do mesmo. Como já citado, o controle atuante será escolhido remotamente através de um(a) botão/chave seletora.

**Tabela 12 - Tabela da válvula de controle**

<b>TAG</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tamanho</b>
FCV-1001	Atua na vazão de entrada da água de reciclo no tanque	1/2"

No subsistema de Medição de Pressão, tem-se quatro válvulas solenoides permitindo a medição de quatro pontos diferentes de pressão e mais um responsável pela admissão da pressão atmosférica no medidor diferencial de pressão. A segunda entrada do medidor pode ser uma das quatro pressões e a primeira, a pressão atmosférica. No subsistema de Processo há uma válvula solenoide responsável pela habilitação de passagem de água de reciclo. Totalizando, assim, seis válvulas solenoides para esse sistema, conforme Tabela 13.

**Tabela 13 - Tabela das válvulas solenóides**

<b>TAG</b>	<b>Descrição</b>	<b>Atuação</b>
XV-1001	Habilitação de passagem da água de reciclo	ON/OFF
XV-1002	Habilitação de passagem da água da entrada do tanque para a seleção da pressão P1	ON/OFF
XV-1003	Habilitação de passagem da água do fundo do tanque para a seleção da pressão P2	ON/OFF
XV-1004	Habilitação de passagem da água da saída do tanque e entrada do reciclo para a seleção da pressão P3	ON/OFF
XV-1005	Habilitação de passagem da água da saída do tanque para descarte para a seleção da pressão P4	ON/OFF
XV-1006	Habilitação de passagem de ar, pressão atmosférica para a primeira entrada do medidor de pressão diferencial	ON/OFF

São usadas 17 válvulas manuais principalmente nos ‘by- pass’ para a manutenção das válvulas solenoides, uma é usada como dreno e outra na saída do tanque para a linha de reciclo conforme Tabela 14, onde 13 são de 3/4" e quatro delas de 1/2".

**Tabela 14 - Tabela das válvulas manuais**

<b>TAG</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tamanho</b>
HCV-1001	Dreno do tanque	3/4"
HCV-1002	Entrada água de reciclo	1/2"
HCV-1003	'by-pass' de XV-1001	1/2"
HCV-1004	'by-pass' de XV-1001	1/2"
HCV-1005	'by-pass' de XV-1001	1/2"
HCV-1006	'by-pass' de XV-1002	3/4"
HCV-1007	'by-pass' de XV-1002	3/4"
HCV-1008	'by-pass' de XV-1002	3/4"
HCV-1009	'by-pass' de XV-1003	3/4"
HCV-1010	'by-pass' de XV-1003	3/4"
HCV-1011	'by-pass' de XV-1003	3/4"
HCV-1012	'by-pass' de XV-1004	3/4"
HCV-1013	'by-pass' de XV-1004	3/4"
HCV-1014	'by-pass' de XV-1004	3/4"
HCV-1015	'by-pass' de XV-1005	3/4"
HCV-1016	'by-pass' de XV-1005	3/4"
HCV-1017	'by-pass' de XV-1005	3/4"

### **4.3. Desenvolvimento da Lógica de Intertravamento**

Para o subsistema de Medição de Pressão será utilizada a seguinte lógica. Uma vez que a pressão no ponto P1, entrada de água no tanque, venha a ser medida de forma absoluta, haverá o comando de abrir a válvula XV-1002 e o fechamento das demais solenoides (XV-1003, XV-1004, XV-1005), juntamente com as demais válvulas, a válvula solenoide XV-1006, responsável pela entrada de ar no medidor de pressão diferencial deverá ser fechada. No caso de comparação entre P1 e P5, pressão atmosférica, além de XV-1002, apenas a válvula XV-1006 deverá ser aberta, admitindo assim o contato com a atmosfera.

Analogamente, para a medição absoluta de P2, pressão no fundo do tanque, deve-se abrir a válvula XV-1003 e fechar as demais solenoides (XV-1002, XV-1004, XV-1005 e XV-1006). No caso de comparação com a pressão atmosférica devemos abrir também a válvula XV-1006.

Para a medição absoluta de P3, pressão de entrada da água de reciclo, devemos abrir a válvula XV-1004 e fechar as demais solenoides (XV-1002, XV-1003, XV-1005 e XV-1006). Para a comparação com a pressão atmosférica, devemos abrir XV-1006 juntamente com a XV-1004.

Por último, para a medição de P4, pressão da água de descarte, devemos abrir a válvula XV-1005 e fechar as demais solenoides (XV-1002, XV-1003, XV-1004 e XV-1006). Para a comparação com a pressão atmosférica, devemos abrir XV-1006 juntamente com a XV-1005.

## 4.4. Descrição Detalhada dos Instrumentos

A planta foi analisada em dois subsistemas, o primeiro refere-se ao subsistema de Processo e o segundo aos instrumentos necessários para o subsistema de Medição de Pressão nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5. A seguir, serão levantados os instrumentos usados em cada subsistema.

### 4.4.1. Processo

Os instrumentos do subsistema de Processo são listados na tabela a seguir, os instrumentos que fazem parte do ciclo da água de reuso. Ele contém a maior parte dos sensores e a menor parte das válvulas manuais, como visto na Tabela 15.

**Tabela 15 - Instrumentos do subsistema de Processo**

<b>Instrumento</b>	<b>TAG</b>	<b>Faixa</b>
Sensor de Nível	LIT-1001	0 a 1m de água
Sensor de Vazão	FT-1001	0 a 50 ml/s
Sensor de Temperatura	TIT-1001	0°C a 100°C
Bomba Hidráulica	BM-1001	0 a 50 ml/s
Válvula de Controle	FCV-1001	1/2"
Válvula Solenoide	XV-1001	1/2"
Válvula Manual	HCV-1001	3/4"
Válvula Manual	HCV-1002	1/2"
Válvula Manual	HCV-1003	1/2"
Válvula Manual	HCV-1004	1/2"
Válvula Manual	HCV-1005	1/2"

Totalizando, assim, um medidor de nível, um medidor de vazão, um medidor de temperatura, uma bomba hidráulica, uma válvula de controle 1/2", uma válvula solenoide 1/2", uma válvula manual 3/4" e quatro válvulas manuais 1/2".

#### 4.4.2. Medição de Pressão

O subsistema de Medição de Pressão necessita da maioria das válvulas solenoides e manuais, todavia apenas o sensor de pressão é usado. A Tabela 16 a seguir contém os instrumentos usados.

**Tabela 16 - Instrumentos do Subsistema de Medição de Pressão**

<b>Instrumento</b>	<b>TAG</b>	<b>Faixa</b>
Sensor de Pressão	PT-1001	0 a 3m coluna de água
Válvula Solenoide	XV-1002	3/4"
Válvula Solenoide	XV-1003	3/4"
Válvula Solenoide	XV-1004	3/4"
Válvula Solenoide	XV-1005	3/4"
Válvula Solenoide	XV-1006	3/4"
Válvula Manual	HCV-1006	3/4"
Válvula Manual	HCV-1007	3/4"
Válvula Manual	HCV-1008	3/4"
Válvula Manual	HCV-1009	3/4"
Válvula Manual	HCV-1010	3/4"
Válvula Manual	HCV-1011	3/4"
Válvula Manual	HCV-1012	3/4"
Válvula Manual	HCV-1013	3/4"
Válvula Manual	HCV-1014	3/4"
Válvula Manual	HCV-1015	3/4"
Válvula Manual	HCV-1016	3/4"
Válvula Manual	HCV-1017	3/4"



Totalizando, assim, um medidor de pressão, cinco válvulas solenoides 3/4" e 12 válvulas manuais 3/4".

## 4.5. Estudo de Viabilidade Econômica

Foram levantados os preços médios de cada instrumento. Os instrumentos estão divididos em quatro grupos: Sensores, Bombas, Válvulas de Controle e Solenoide e Válvulas Manuais.

### 4.5.1. Sensores

Para os instrumentos de medição, as tecnologias 4 a 20 mA e Arduino apresentadas são levadas em consideração para a comparação do melhor custo/benefício. É possível visualizá-la na Tabela 17 a seguir:

**Tabela 17 - Tabela de preços dos sensores. Fonte: + (Automatele, 2014), \* (Laboratório de Garagem, 2014), \*\* (Webtronico, 2014), \*\*\* (Aliexpress, 2014)**

<b>Instrumento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>4 a 20 mA <sup>+</sup></b>	<b>Arduino</b>
Sensor de Nível <sup>1</sup>	1	R\$ 1910,89	R\$ 59,00 **
Sensor de Vazão <sup>2</sup>	1	R\$ 4990,18	R\$ 68,00 *
Sensor de Temperatura <sup>3</sup>	1	R\$ 1398,89	R\$ 47,60 **
Sensor de Pressão <sup>4</sup>	4	-	R\$ 24,25 *** (R\$ 97,00)
Sensor de Pressão Barométrica <sup>5</sup>	1	-	R\$ 61,20 *
Sensor de Pressão Diferencial <sup>6</sup>	1	R\$ 3910,89	-
Subtotal		R\$ 12210,85	R\$ 332,80

*Descrição dos Sensores 4 a 20 mA cotados*

[1] Sensor de Nível - diâmetro nominal 1/2", conexão ao processo: rosca NPT-F, material da conexão: Alumínio, material do corpo: Alumínio, material do eixo / suporte: Alumínio, princípio: piezo – diafragma, pintura padrão, não possui display, material do cabeçote: Alumínio fundido, conexão elétrica 1/2" NPT, grau de proteção IP65, range de medição de 0 a 5000 mmH2O, faixa de calibração: 0 a 1000 mmH2O, sensor do tipo capacitivo, pré amplificador TVX, alimentação 24 Vcc, sinal de saída 4@20ma.

[2] Sensor de Vazão – diâmetro nominal de 1/2", conexão ao processo: rosca NPT-M, material da conexão: Aço Inox AISI 304, material do corpo: Aço Inox AISI 304, material do eixo / suporte: Aço Inox AISI 304, material do rotor: 17.4 Ph, tipo dos mancais: bucha, material dos mancais: Carbetto de Tungstênio, material do cabeçote: Alumínio fundido, conexão elétrica de 3/4" NPT, grau de proteção IP65/IP67, dissipador de calor: Não ~ Uso ate 70 °C, faixa de vazão nominal: 1 e 13,6 m3/h, tipo do sensor: Pick - Up Magnética, pré amplificador TVX, alimentação 24 Vcc, sinal de saída: pulsos + 4@20ma.

[3] Sensor de Temperatura – diâmetro nominal 1/2", conexão ao processo: rosca NPT-F, material da conexão: Aço Inox AISI 304, material do corpo: Aço Inox AISI 304, material do eixo / suporte: Aço Inox AISI 304, princípio: tipo cabeçote -100 integral, pintura padrão, não possui display, material do cabeçote: Alumínio fundido, conexão elétrica 1/2" NPT, grau de proteção IP65, range de medição: 0 a 100 °C, faixa de calibração: 0 a 100 °C, sensor tipo termopar, pré amplificador TVX, alimentação 24 Vcc, sinal de saída 4@20ma.

[6] Sensor de Pressão Diferencial – diâmetro nominal 1/2", conexão ao processo: rosca NPT-F, material da conexão: Aço Inox AISI 316, material do corpo: Aço Inox AISI 316, material do eixo / suporte: Aço Inox AISI 304, princípio: célula diafragma, pintura padrão, possui display, material do cabeçote: Alumínio fundido, conexão elétrica 1/2" NPT, grau de proteção IP65/IP67, range de medição 0 a 0,5 bar, faixa de calibração: 0 a 0,5 bar, sensor capacitivo, pré amplificador TVX, alimentação 24 Vcc, sinal de saída 4@20ma.

### *Descrição dos Sensores Arduino cotados*

[1] Sensor de nível - Material INOX, Tensão de contato (max): 100VDC, corrente de contato (max): 0.5A, tensão de ruptura (max): 220VDC, corrente de pico

(max): 1.0A, resistência de contato (max): 100mΩ, temperatura de operação: -30 ~ +125° C.

[2] Sensor de Vazão – corpo de válvula de plástico, voltagem: 5V-24V, corrente máxima: 15mA (DC 5V), diâmetros externos: 41mm, taxa de fluxo: 1~120 l/min, temperatura em operação: 0°C~80°C, temperatura do líquido: inferior a 120°C, umidade em operação: 35% ~ 90%RH, pressão em operação: inferior a 1,75Mpa.

[3] Sensor de Temperatura – à prova d'água, voltagem de 3V-5.5V, sonda de 7mm de diâmetro, comprimento da sonda de 26mm, comprimento total de 1,83m, temperatura em operação: -55°C ~125°C, interface de um fio.

[4] Sensor de Pressão – material epóxi e termoplástico, 5% de erro de 0° a 85° C, temperatura de operação de -40° ~ +125°C, medição de coluna de água de até 1m, saída analógica, faixa de medição de 0 a 10 kPa, tempo de resposta de 1 ms.

[5] Sensor de Pressão Barométrica – faixa de operação de 300 a 1100 hPa, precisão absoluta de até 0,03 hPa, tecnologia piezo-resistivos, tensão de 1,8 à 3,6 VDC.

Obs: No caso do Arduino serão usados quatro sensores de pressão, um em cada ponto (P1, P2, P3, P4) a serem medidos, sendo o preço R\$ 97,00 o valor total de sensores de pressão a serem utilizados e um sensor de pressão barométrica para a medição de P5, pressão atmosférica. Não será feita a comparação em relação à pressão atmosférica, pois não haverá um medidor de pressão diferencial, o mesmo não foi encontrado para compra até o momento de realização deste trabalho.

## 4.5.2. Bombas

Para a bomba em questão foi levantado o preço em relação à tecnologia 4 a 20 mA, que também pode ser usada com o Arduino, como resultado tem-se a Tabela 18.

Tabela 18 – Tabela de preços da bomba. Fonte: \* (Shoptime, 2014)

Descrição			Valor Unitário *	Valor Total
Instrumento	Quantidade	Unidade		
Bomba <sup>1</sup>	1	1	R\$ 93,18	R\$ 93,18
Subtotal				R\$ 93,18

### *Descrição da Bomba cotada*

[1] Bomba – Bomba de Água Periférica BP500 ½ HP – Intech Machine – 127V ou 220V~60Hz, potência de motor de ½ HP – 0,37 KW, rotação  $n_0=3450$ /minuto, altura manométrica máxima de 26 metros, sucção máxima de 8 metros, vazão máxima de 33 litros/minuto, temperatura máxima da água 40° C, temperatura máxima do ambiente 80° C, peso aproximado de 4.8 kg.

### **4.5.3. Válvulas de Controle e Solenoide**

Para as válvulas foram levantados os preços em relação à tecnologia 4 a 20 mA, que também pode ser usada com o Arduino e obtivemos a Tabela 19:

**Tabela 19 - Tabela de preços das válvulas auto-operadas. Fonte: \*e-mail (Automatele, 2014) \*\*e-mail (Ascoval, 2014)**

Descrição			Valor Unitário -	Valor Total - 4
Instrumento	Quantidade	Unidade	4 a 20 mA	a 20 mA
Válvula de Controle <sup>1</sup>	1	1/2"	R\$ 6590,18	R\$ 6590,18*
Válvula Solenoide <sup>2</sup>	1	1/2"	R\$ 465,00	R\$ 465,00**
Válvula Solenoide <sup>3</sup>	5	3/4"	R\$ 490,00	R\$ 2450,00**
Subtotal				R\$ 9505,18

### *Descrição das Válvulas de Controle e Solenoide cotadas*

[1] Válvula de Controle - Válvula de Controle de duas vias, linear ou de abertura rápida, atuadores pneumáticos, ½" diâmetro, conexões rosca NPT, pressão máxima de 1500 LBS, temperatura máxima de 550°C, posicionador com sinal de entrada 4 a 20 mA, sinal de saída de 0 a 100% saída de ar, pressão de ar 0,14-0,25 Mpa, curso rotativo 50° a 90°

[2] Válvula Solenoide – Válvula Solenoide 2 vias, conexão ½" NPT, para água, ar e óleo, normalmente fechada, pressão de operação de 0 a 8 kgf/cm<sup>2</sup>, 110V

[3] Válvula Solenoide – Válvula Solenoide 2 vias, conexão ¾” NPT, para água, ar e óleo, normalmente fechada, pressão de operação de 0 a 9 kgf/cm<sup>2</sup>, 110V

#### 4.5.4. Válvulas Manuais

No caso das válvulas manuais não foram consideradas nenhuma das tecnologias estudadas por não apresentar necessidade do estudo de caso das mesmas, elas irão funcionar por meio da intervenção humana abrindo-as ou fechando-as.

Tabela 20 - Tabela de preços das válvulas manuais. Fonte: \* e-mail (Ascoval, 2014)

Descrição			Valor Unitário *	Valor Total
Instrumento	Quantidade	Unidade		
Válvula Manual <sup>1</sup>	4	1/2"	R\$ 72,00	R\$ 288,00
Válvula Manual <sup>2</sup>	13	3/4"	R\$ 92,00	R\$ 1196,00
Subtotal				R\$ 1484,00

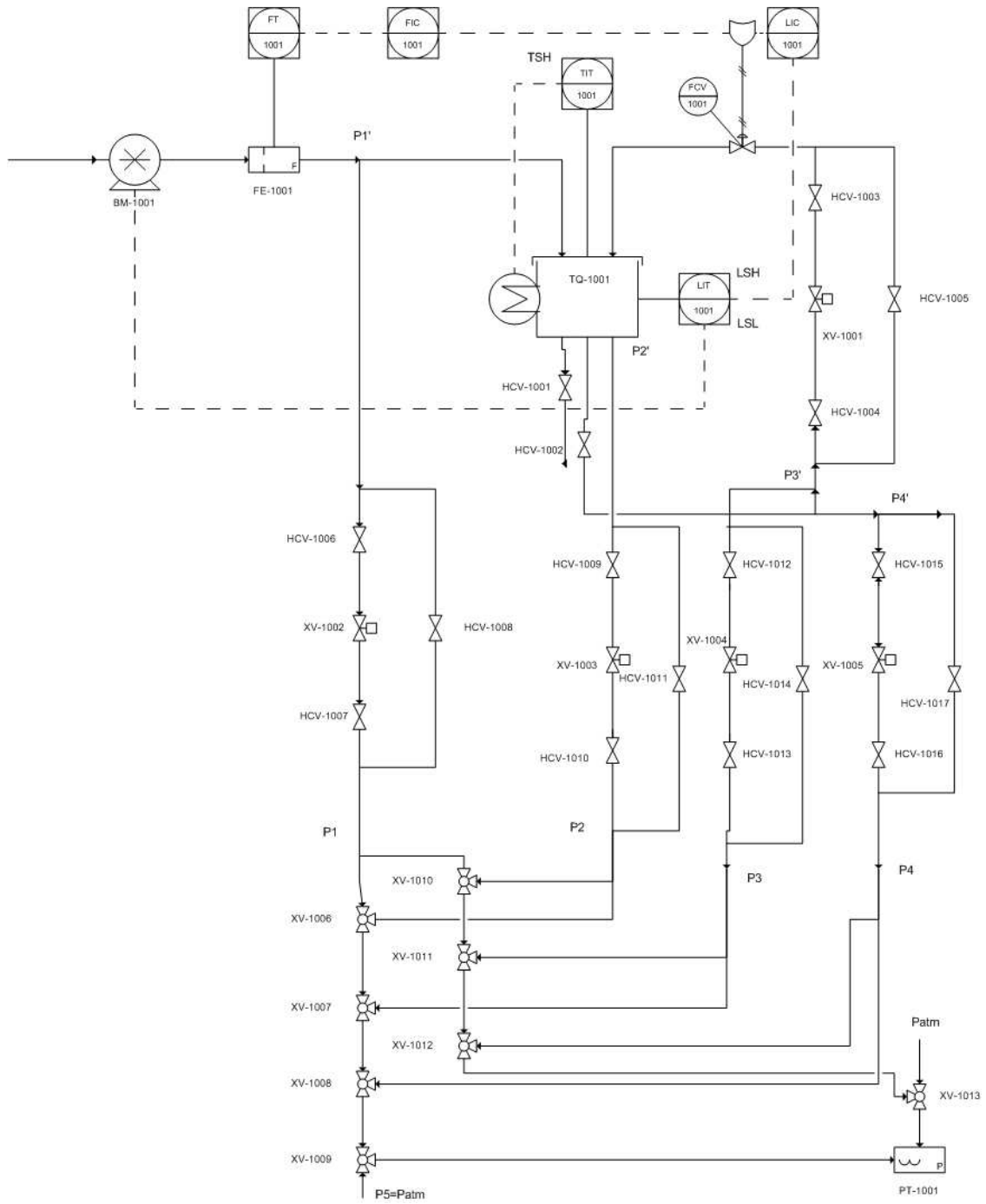
#### *Descrição das Válvulas Manuais Cotadas*

[1] Válvula Manual – Válvula Esfera tripartida ½” NPT, para água, passagem plena, corpo em aço inox, com alavanca para acionamento manual

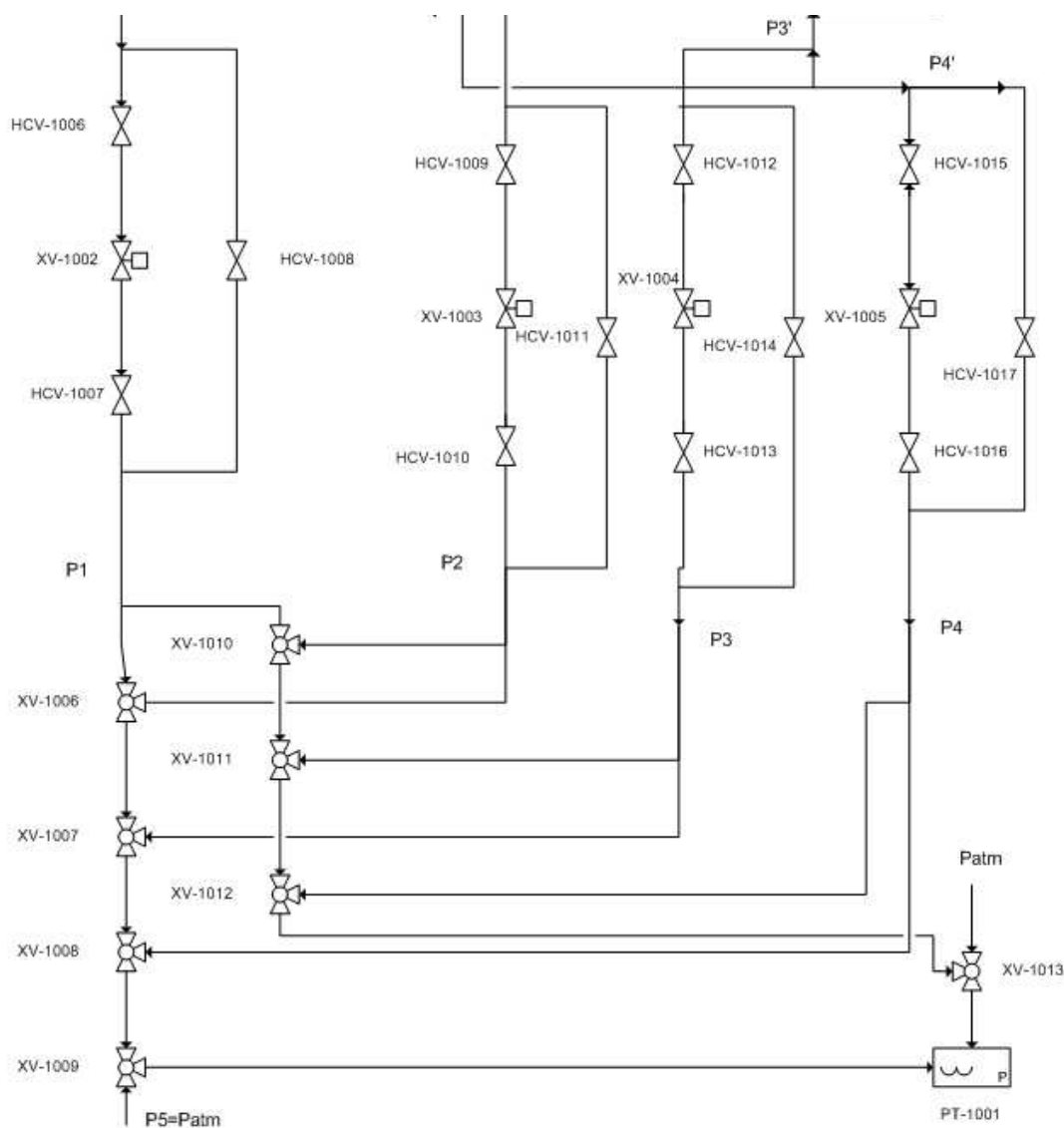
[2] Válvula Manual – Válvula Esfera tripartida ¾” NPT, água, passagem plena, corpo em aço inox, com alavanca para acionamento manual

#### 4.6. Arquitetura Futura

Conforme citado anteriormente, a Planta Proposta 1 idealiza uma medição relativa entre as pressões, como exemplo, a comparação de P1 e P2, ou P2 e P4, e assim seria obtida diretamente a diferença entre as pressões. No entanto o projeto foi encarecido pela necessidade de oito válvulas 3 vias, conforme a Figura 34, encontrado também no Anexo II.



**Figura 34 - Esquema com possibilidade de comparação entre as pressões.**



**Figura 35 – Subsistema de Medição de Pressão com possibilidade de comparação entre as pressões.**

Cada válvula de 3 vias<sup>1</sup> de 3/4" custa em torno de R\$ 2.550,00, conseqüentemente, ao usar oito como previsto, o projeto seria encarecido de R\$ 20.000,00. Como a meta da bancada é focada no subsistema de Processo, ou seja, no estudo do ciclo da água no tanque, e na monitoração das variáveis a ele relacionadas, o uso dessas válvulas não seria essencial. Escolhido assim, a não inclusão desses elementos.

[1] Válvula 3 Vias – Válvula Solenoide 3 vias, conexão 3/4" NPT, para água, ar e óleo, normalmente fechada, pressão de operação de 0,7 a 9 kgf/cm<sup>2</sup>, 110V.

O preço cotado foi a partir da fonte (Ascoval, 2014). A lógica será detalhada a seguir. Será chamada de grupo 1 as válvulas de 3 vias XV-1006, XV-1007, XV-1008 e XV-1009, e de grupo 2 as válvulas XV-1010, XV-1011, XV-1012 e XV-1013.

É possível medir a pressão absoluta de P1 ao abrirmos a válvula XV-1002, independentemente das outras válvulas solenoides estarem abertas, bastando que as válvulas 3 vias adequadas estejam fechadas. As válvulas do grupo 2 devem estar fechadas, assim não há entrada na segunda entrada do medidor de pressão diferencial, a entrada superior da válvula XV-1006 deve estar aberta, assim como a saída inferior da mesma, enquanto a entrada lateral dessa válvula deve estar fechada. Para continuar o fluxo, a entrada superior da válvula XV-1007, XV-1008 e XV-1009 assim como a inferior destas devem estar abertas e suas entradas laterais fechadas. Assim, a primeira entrada do medidor de pressão diferencial apenas receberá como entrada o fluxo que mede P1.

Caso uma comparação com a pressão atmosférica seja requerida, a única entrada do grupo 2 que deverá ser aberta é a entrada superior da válvula XV-1013 assim como sua saída inferior. Sempre que for desejada a medição de pressão absoluta usaremos o grupo 1 para a passagem do fluxo. Se for desejado medir uma pressão em relação a outra, deve-se usar o grupo 1 para a primeira e o grupo 2 para a passagem de fluxo da segunda.

No grupo 1 a entrada de P1 acontece na entrada superior da válvula XV-1006, e a entrada de P2 na entrada lateral da mesma, a e entrada de P3 acontece na entrada lateral da válvula XV-1007, a entrada de P4 na entrada lateral da válvula XV-1008 e a de P5 (pressão atmosférica) na entrada lateral de XV-1009.

No grupo 2 a entrada de P1 acontece na entrada superior da válvula XV-1010, e a entrada de P2 na entrada lateral da mesma, a e entrada de P3 acontece na entrada lateral da válvula XV-1011, a entrada de P4 na entrada lateral da válvula XV-1012 e a de P5 (pressão atmosférica) na entrada lateral de XV-1013

Como um exemplo de comparação entre pressões, serão comparadas P2 e P3. Seus caminhos estão representados na Figura 36. P2 passará pelo grupo 1 e P3 pelo grupo 2. A abertura das válvulas XV-1003 e XV-1004 deverá ser acionada para a passagem de fluxo de P2 e P3. A entrada lateral da válvula XV-1006 e sua saída inferior, assim como as saídas inferiores das válvulas XV-1007, XV-1008 e XV-1009 para a passagem de fluxo de P2 para a primeira entrada do medidor de pressão diferencial.

No segundo grupo deverão ser abertas a entrada lateral de XV-1011 e sua saída inferior, assim como as saídas inferiores das válvulas XV-1012 e XV-1013,



permanecendo as outras entradas e saídas das válvulas de 3 vias dos grupos 1 e 2 fechadas.

Assim, analogamente, podemos fazer as outras comparações, abrindo-se e fechando-se as respectivas entradas e saídas das válvulas.

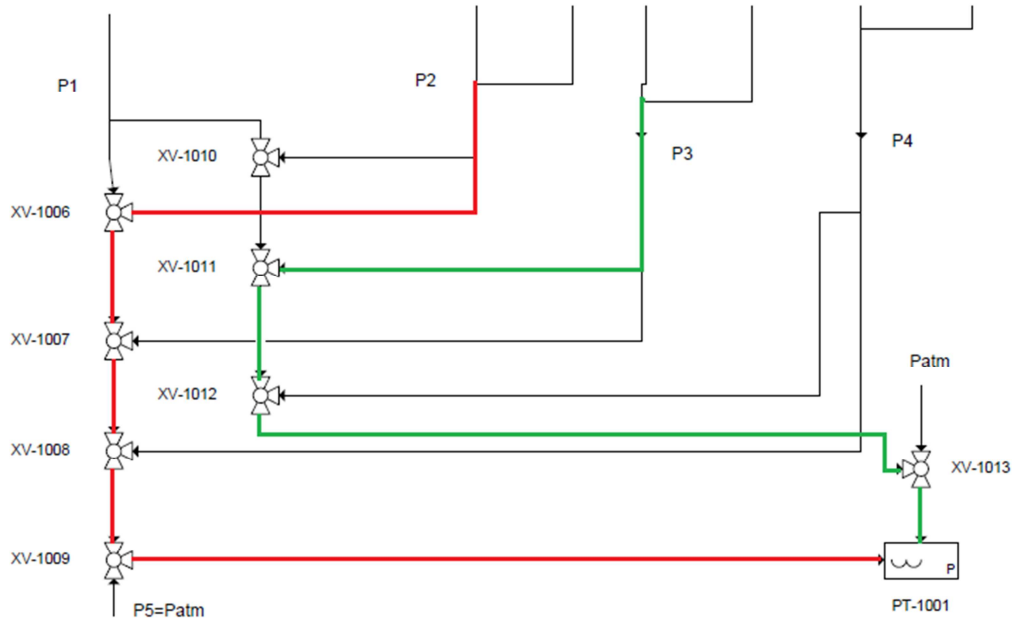


Figura 36 – Caminhos percorridos pelo fluido para a medição dos pontos P2 e P3

## 4.7. Arquiteturas do Sistema de Automação e Controle Propostas

Tendo em vista tornar mais versátil e menos custoso o projeto, serão propostas três tipos de arquiteturas. A primeira é a estrutura completamente 4 a 20 mA, a segunda é a estrutura completamente Arduino e a terceira é uma estrutura híbrida 4 a 20 mA e Arduino, sendo a tecnologia 4 a 20 mA usada no subsistema descrito no item 3.1 Processo e a tecnologia Arduino usada no item 3.2 Medição de Pressão.

### 4.7.1. Totalmente 4 a 20 mA

Essa estrutura requer que tanto o subsistema de Processo quanto o de Medição de Pressão sejam 4 a 20 mA. Analisando a tabela abaixo, encontramos o valor total para a determinada arquitetura.

Como os elementos já foram cotados nas Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20. Resumi-se, assim, a tabela em duas colunas.

**Tabela 21 - Valor total da Arquitetura 4 a 20 mA. Fonte: \* (Automatele, 2014)**

<b>Instrumento</b>	<b>Valor</b>
Sensores	R\$ 12210,85
Bomba	R\$ 93,18
Válvulas	R\$ 9505,18
Válvulas Manuais	R\$ 1484,00
Central 4 a 20 mA <sup>1</sup>	R\$ 1450,00 *
Total	R\$ 24743,21

### *Descrição da Central 4 a 20mA cotada*

[1] Central 4 a 20 mA- Controlador Universal de Processos – C/PID – aceita termopares: J, K, N, R, T, S, B, E termorresistência Pt100, 0-20 mA, 4-20 mA, 50 mV, 0-5 Vcc e 0-10 Vcc, interface USB 2.0, classe CDC, protocolo Modbus RTU, duplo display LED: superior para PV vermelho com 10 mm de altura, inferior para SV verde com 8 mm, amostragem: 55 medidas por segundo, atualização da saída de controle em até 20 ms, saída 4 a 20 mA isolada com 31000 níveis de resolução, carga máxima de 550 ohms, consumo máximo de 9 VA, saída: 2 relés SPST 1,5 A/ 240 Vca/cc e 1 relé SPDT (opcional) 3 A/250 Vca/cc, alimentação de 100 a 240 Vca/cc , 12 a 24 Vca/cc, 24 Vca, ambiente de operação de 5 a 50°C, 30 a 80% UR, grau de proteção frontal IP65, PC UL94 V-2, grau de proteção da caixa IP20 ABS + PC UL94 V-0, homologado CE e UL, dimensões: 48 x 48 x 110 mm, recorte para fixação no painel de 45,5 x 45,5 mm e peso aproximado de 150 g.

### **4.7.2. Totalmente Arduino**

Analogamente à estrutura totalmente 4 a 20 mA vista anteriormente, os elementos já foram cotados nas Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20, com exceção da central do Arduino, que é a placa Arduino. É resumida, também, a tabela em duas colunas.

**Tabela 22 - Valor total da Arquitetura Arduino. Fonte: \* (Laboratório de Garagem, 2014)**

<b>Instrumento</b>	<b>Valor</b>
Sensores	R\$ 332,80
Bomba	R\$ 93,18
Válvulas	R\$ 9505,18
Válvulas Manuais	R\$ 1484,00
Central Arduino <sup>1</sup>	R\$ 99,00 *
Total	R\$ 11514,16

### *Descrição da Central Arduino cotada*

[1] Central Arduino – Microcontrolador ATmega328, Voltagem Operacional de 5V, Voltagem de entrada (recomendada) de 7-12V, Voltagem de entrada (limites) de 6-20V, Pinos E/S digitais 14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM), Pinos de entrada analógica 6, Corrente CC por pino E/S 40 mA, Corrente CC para o pino 3,3V de 50 mA, Flash Memory 32 KB (ATmega328), SRAM de 2 KB (ATmega328), EEPROM de 1 KB (ATmega328), Velocidade de Clock de 16 MHz.

### **4.7.3. Arquitetura Híbrida**

A arquitetura híbrida abrange o subsistema de Processo, com a tecnologia 4 a 20 mA, enquanto o subsistema de Medição de Pressão, utiliza a tecnologia Arduino. São apresentadas três tabelas, a primeira com os equipamentos 4 a 20 mA do subsistema de Processo, a segunda com os equipamentos Arduino do subsistema de Medição de Pressão e a terceira com o valor total Híbrido.

**Tabela 23 - Tabela de preços da Arquitetura Híbrida – Subsistema de Processo 4 a 20 mA**

Descrição			Valor Unitário 4 a 20	Valor Total 4 a
Instrumento	Quantidade	Unidade	mA	20 mA
Sensor de Nível	1	-	R\$ 1910,89	R\$ 1910,89
Sensor de Vazão	1	-	R\$ 4990,18	R\$ 4990,18
Sensor de Temperatura	1	-	R\$ 1398,89	R\$ 1398,89
Bomba	1	-	R\$ 93,18	R\$ 93,18
Válvula de Controle	1	1/2"	R\$ 6590,18	R\$ 6590,18
Válvula Solenoide	1	1/2"	R\$ 465,00	R\$ 465,00
Válvula Manual	1	3/4"	R\$ 92,00	R\$ 92,00
Válvula Manual	4	1/2"	R\$ 72,00	R\$ 288,00
Central 4 a 20 mA	1	-	R\$ 1450,00	R\$ 1450,00
Subtotal				R\$ 17278,32

A seguir a tabela composta pelo subsistema de Medição de Pressão formada pelos sensores Arduino.

**Tabela 24 - Tabela de preços da Arquitetura Híbrida – subsistema de Medição de Pressão Arduino**

Descrição			Valor Unitário Arduino	Valor Total Arduino
Instrumento	Quantidade	Unidade		
Sensor de Pressão	4	-	R\$ 24,25	R\$ 97,00
Sensor de Pressão Barométrica	1	-	R\$ 61,20	R\$ 61,20
Válvula Solenoide	5	3/4"	R\$ 490,00	R\$ 2450,00
Válvula Manual	12	3/4"	R\$ 92,00	R\$ 1104,00
Central Arduino	1	-	R\$ 99,00	R\$ 99,00
Subtotal				R\$ 3811,20

Ao somar os dois subtotais calculados, encontra-se o valor total para a arquitetura híbrida composta.

**Tabela 25 - Tabela de preços Arquitetura Híbrida – Total**

	Valor
Processo	R\$ 17278,32
Medição de Pressão	R\$ 3811,20
Total	R\$ 21089,52

## 5. Conclusão e Sugestões

O sistema de Automação e Controle totalmente 4 a 20 mA custa R\$ 24.743,21, o totalmente Arduino R\$ 11.514,16 e a híbrida R\$ 21.089,52. Os custos fixos de implementação da planta podem sofrer alterações significativas, uma vez que muitos preços são cotados em dólares (produtos importados).

Os elementos de medição do sistema de Automação totalmente 4 a 20 mA custam 40 vezes mais que os do sistema totalmente Arduino Sendo os preços do sistema de atuação iguais.

Tendo em vista a cotação dos preços, é notório que a tecnologia Arduino é a que apresenta o maior custo/benefício, pois possui baixo custo e para fins educacionais alcança o objetivo proposto pela bancada. Os alunos serão capazes de avaliar as alterações ocorridas no ambiente do processo ao longo do mesmo, uma vez que alguma variável é alterada, apesar de não implementar a comparação entre as pressões.

Durante o trabalho, foram cotados diversos instrumentos. Apesar de pequenos diâmetros das válvulas, não foram encontradas grandes dificuldades em achar os mesmos. Os proponentes já trabalhavam com os tamanhos especificados. No entanto, o tempo de resposta de alguns proponentes foi longo.

A divisão em camadas do diagrama P&I permite a análise gráfica individualizada e dedicada a cada grupo de profissionais especializados por área de conhecimento.

No futuro, pode-se inserir a tecnologia 4 a 20 mA e posteriormente aumentar o subsistema de Medição de Pressão, adotando o sistema mais completo apresentado na Planta Proposta 1 (Anexo II). Mas num primeiro momento, a tecnologia adotada será Arduino.

Pode-se futuramente implementar a planta e realizar testes, fazer um levantamento de para quais subáreas de conhecimento se aplica a planta (disciplina, curso, etc) e desenvolver a tecnologia na linguagem ladder para medição de pressão comparativa.

## 6. Referências

- Aliexpress. (2014). *100% NOVO Original MPX5010 MPX5010DP SENSOR DIFF PRESS 1.45 PSI MAX (MPX5010DP)*. Acesso em 21 de Outubro de 2014, disponível em Aliexpress: [http://pt.aliexpress.com/store/product/100-NEW-Original-MPX5010-MPX5010DP-SENSOR-DIFF-PRESS-1-45-PSI-MAX-MPX5010DP/1184182\\_1741589761.html](http://pt.aliexpress.com/store/product/100-NEW-Original-MPX5010-MPX5010DP-SENSOR-DIFF-PRESS-1-45-PSI-MAX-MPX5010DP/1184182_1741589761.html)
- Arduino. (2014). *Arduino*. Acesso em 30 de Outubro de 2014, disponível em Arduino: <http://arduino.cc/>
- Ascoval. (30 de Setembro de 2014). E-mail Válvulas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Automatele. (21 de Setembro de 2014). E-mail Central 4 a 20 mA. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Automatele. (25 de Novembro de 2014). E-mail Sensores. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Automatele. (20 de Outubro de 2014). E-mail Válvulas. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- Dunn, W. C. (2005). *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control*. McGraw Hill Professional.
- Dunn, W. C. (2006). *Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control*. Norwood: Artech House.
- Fialho, E. B. (2004). *Automação Hidráulica - Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. São Paulo: Érica Ltda.
- Fieldbus Foundation. (2014). *Fieldbus Foundation*. Acesso em 30 de Outubro de 2014, disponível em Fieldbus Foundation: <http://www.fieldbus.org/>
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2008). *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons, Inc.
- IEC. (2001). International Standard IEC 60529. *Degrees of protection provided by enclosures (IP Code)*.
- Laboratório de Garagem. (2014). *Laboratório de Garagem*. Acesso em 21 de Outubro de 2014, disponível em Laboratório de Garagem: <http://www.labdegaragem.org/loja/>
- Lipták, B. G. (2006). *Process Control and Optimization*. Boca Raton: CRC - Taylor & Francis Group.
- Love, J. (2007). *Process Automation Handbook*. Springer.

- SENAI. (2003). *Instrumentação Industrial*. Tubarão: Tubarão.
- Shoptime. (2014). *Bomba de Água Periférica BP500 1/2 HP - Intech Machine*. Acesso em 6 de Novembro de 2014, disponível em Shoptime:  
<http://www.shoptime.com.br/produto/111605854/bomba-de-agua-periferica-bp500-1-2-hp-intech-machine?opn=GOOGLEXML&epar=googlepla&WT.srch=1>
- Smith, P., & Zappe, R. W. (2004). *Valve Selection Handbook*. Elsevier.
- Webster, J. G. (1999). *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, Webster, 1999*. Boca Raton: CRC Press.
- Webtronico. (2014). *Webtronico*. Acesso em 21 de Outubro de 2014, disponível em Webtronico: <http://www.webtronico.com/>
- White, F. M. (1998). *Fluid Mechanics*. Rhode Island: WCB McGraw-Hill.



## **7. Anexos**

