

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELETRÔNICA

WILLIAN SOUSA SILVA

TESTADOR DE MICROFUSOS MICROCONTROLADO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TOLEDO
JULHO - 2015

WILLIAN SOUSA SILVA

TESTADOR DE MICROFUSOS MICROCONTROLADO

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC 2), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletrônico, da Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Toledo.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Rizental Coutinho

TOLEDO

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Toledo
Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica



TERMO DE APROVAÇÃO

Título do Trabalho de Conclusão de Curso Nº 015

Testador de Microfuros Microcontrolado

por

Willian Sousa Silva

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 8:20 h do dia **08 de junho de 2015** como requisito parcial para a obtenção do título **Bacharel em Engenharia Eletrônica**. Após deliberação da Banca Examinadora, composta pelos professores abaixo assinados, o trabalho foi considerado **APROVADO**.

Profa. M. Jaqueline Vargas
(UTFPR-TD)

Prof. M. Marcos Roberto Bombacini
(UTFPR-TD)

Prof. Dr. Fábio Rizental Coutinho
(UTFPR-TD)
Orientador

Visto da Coordenação

Prof. M. Alessandro Paulo de Oliveira
Coordenador da COELE

AGRADECIMENTO

Como em qualquer trabalho não pode ser realizado sozinho, este não seria diferente. Portanto desde já peço desculpas aqueles que não estão presentes entre essas palavras.

Aos meu pais por acreditarem e mim desde o início, pelo seu amor e apoio incondicionais.

Ao professor Doutor Fábio Rizental Coutinho, que me orientou, ajudou e compreendeu, em todas as fases deste trabalho.

Ao professor Doutor Gerson Filippini, pela “Luz” em diversos momentos.

A minha namorada Kelly Andressa, pela paciência neste momento complicado e pelo companheirismo.

Ao laboratório de IC pela infraestrutura oferecida.

Ao professor Mestre José Dolores Vergara Dietrich pela ajuda fornecida.

A todos meus amigos, que estiveram ao meu lado, no decorrer dessa graduação.

“Nada pode ser obtido sem uma espécie de sacrifício. É preciso oferecer algo de valor equivalente...”

Alphonse Elric

RESUMO

Sousa Silva, Willian. **Testador de microfuros microcontrolado**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, 2015.

Palavras-chave: Qualidade. Microfuros. Sensor de Pressão. Microcontrolador.

No processo de fabricação de corpos plásticos, a integridade do produto está diretamente relacionada com sua qualidade. O surgimento de microfuros durante a refrigeração do molde é um dos problemas desse processo que compromete a qualidade do produto final. Este trabalho descreve o projeto e desenvolvimento de um dispositivo microcontrolado para detecção e análise de microfuros em embalagens de PEAD. O sistema desenvolvido pressuriza um frasco por 5 segundos para detectar microfuros de até 0,25 mm de diâmetro pelo decaimento temporal de pressão da embalagem. Foi utilizado um sensor de pressão, que converte a pressão obtida em sinal elétrico. O sinal de pressão é enviado a um microcontrolador que faz a análise do sinal elétrico e decide sobre a presença ou não de microfraturas na embalagem. O dispositivo também pode enviar a curva de pressão medida para um computador para realização de estudo da mesma.

ABSTRACT

SOUSA, Willian S. **Microcontrolled micro holes tester**. 2015. Final Paper, (Bachelor in Engineering Electronic) –Federal University of Technology – Paraná. Toledo, 2015.

Palavras-chave: Quality. Micro holes. Pressure measured. Microcontroller.

In the fabrication of plastic bodies, the product integrity is directly related with his quality. The appearing of micro holes during the cooling down of the plastic mold is one of the problems of this process that compromises the final product quality. This work describes the project and development of a microcontrolled device for analysis and detection of micro holes in HDPE bottle. The system developed pressurizes a bottle for 5 seconds and can detect micro holes down to 0.25 mm by measuring the temporal pressure drop of the bottle. A pressure sensor was used to convert the pressure measured in an electrical signal. This signal is transmitted to a microcontroller that analysis the signal and then decides about the presence, or not, of micro fissures in the bottle. The device can also send the pressure data measured to a computer for further study on the pressure curves.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação ilustrativa do verificador de Microfuros	16
Figura 2: Deflexão Máxima (z_{max}): Diafragma Sobre Pressão	18
Figura 3: Estrutura lógica do transdutor pressão MEMS série 641-642.	22
Figura 4: Etapa de Alimentação da Placa Condicionadora de Sinal	23
Figura 5: Diagrama de blocos do projeto da fonte reguladora	24
Figura 6: Circuito da fonte reguladora	25
Figura 7: Aproximação de uma válvula solenoide com circuito RL	26
Figura 8: Circuito de acionamento	29
Figura 9: Circuito de reinicialização	31
Figura 10: Sensor Óptico de Barreira	33
Figura 11: Sensor Óptico por Retroreflexão	33
Figura 12: Sensor Tipo Reflexão Difusa	34
Figura 13: Cilindro de Simples Ação: Estado de retorno	35
Figura 14: Cilindro de Dupla Ação: Estado de avanço	36
Figura 15: Representação da Arquitetura Harvard	37
Figura 16: Características do Microcontrolador a ser usado	39
Figura 17: Esquema Microcontrolador PIC 16F688.	39
Figura 18: Representação do registrador do PORTA e registrador do TRISA	40
Figura 19: Representação do registrador do PORTC e registrador do TRISC.....	41
Figura 20: Dado sendo transmitido via protocolo RS232.	42
Figura 21: Configuração do MAX 232 para com entrada TTL e saída serial	43
Figura 22: Esquema básico de ligação para comunicação	43
Figura 23: Fluxograma do testador de microfros	44
Figura 24: Função LabVIEW para abertura do canal porta serial.	46
Figura 25: Função LabVIEW para leitura dos dados	46
Figura 26: Função LabVIEW para fechar a comunicação serial.....	47
Figura 27: Programa para aquisição de dados do testador de microfuros	47
Figura 28: Layout da PCB do testador de microfuros.	50
Figura 29: Placa PCB dupla face :(A) face superior; (B) face inferior.	51
Figura 30: Placa Testador microfuros.	51
Figura 31: Vista frontal da bancada de testes.	53
Figura 32: Vista superior da bancada de testes.	54
Figura 33: Diagrama pneumático de ligações	55
Figura 34: Curva de pressão gerada pelo testador de microfuros.....	56
Figura 35: Curva pressão frasco sem furo	58
Figura 36: Curva de pressão para furo de 1mm.....	59
Figura 37: Derivada da curva de pressão, para furo de 1 mm	60
Figura 38: Curva pressão furo de 0,35mm	60
Figura 39: Derivada da curva de pressão furo de 0,35 mm.....	61
Figura 40: Curva de pressão para furo de 0,3mm.....	61
Figura 41: Derivada da curva de pressão para furo de 0,35mm	62
Figura 42: Curva pressão furo de 0,25mm	63
Figura 43: Derivada curva de pressão para furo de 0,25mm.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Função dos microfuros submetidos a teste	57
--	----

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

AD	Analógico para Digital
ALU	Arithmetic Logic Unit
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
A	Área	m^2
ϵ	Permissividade elétrica do material	F/m
d	Distância	m
Hz	Hertz	Hz
Pa	Pascal	Pa
V	Volts	V
V_{out}	Tensão de saída	V
w	Energia armazenada pelo indutor	J
L	Indutor	H
i_0	Corrente no estado inicial	A
V_L	Tensão sobre o indutor	V
V_R	Tensão sobre o resistor	V
R	Resistência	Ω
I_t	Corrente de regime transiente	A
I_{ss}	Corrente de regime estacionário	A
I_b	Corrente de base do transistor	A
i_c	Corrente de coletor do transistor	A
C	Capacitância	F
t	Tempo	s

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVO	15
2 METODOLOGIA	16
2.1 TRANSDUTOR DE PRESSÃO	17
2.1.1 Transdutores de pressão piezelétrico	18
2.1.2 Transdutores de pressão capacitivo.....	19
2.1.3 Transdutores de pressão piezorresistivo	19
2.1.4 Escolha transdutor do transdutor de pressão.....	20
2.1.5 Transdutor de pressão piezoressitivo utilizando substrato de silício	20
2.1.6 Trabalhando com transdutor piezoressitivo	21
2.3 CONDICIONADOR DE SINAL	22
2.3.1 Projeto da fonte de alimentação	23
2.3.2 Projeto do circuito de acionamento	26
2.3.3 Projeto do circuito de reinicialização do microcontrolador.....	30
2.4 SENSOR FOTOELÉTRICO	32
2.4.1 Sensor óptico de barreira.....	32
2.4.2 Sensor óptico por retrorreflexão	33
2.4.3 Sensor óptico por reflexão difusa	34
2.4.4 Escolha do sensor óptico.....	34
2.5 DESCRIÇÃO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS.....	34
2.5.1 Atuadores de Simples Ação.....	35
2.5.2 Atuadores de Dupla Ação.....	35
2.5.3 Escolha do Atuador	36
2.6 DESCRIÇÃO DAS VÁLVULA PNEUMÁTICAS.....	36
2.7 MICROCONTROLADOR	36
2.6.1 Escolha do microcontrolador	38
2.6.2 Trabalhando com o microcontrolador	39
2.6.3 Protocolo UART	42
2.6.4 Desenvolvimento do código do testador de microfuros	44
2.8 MONITORAMENTO TESTADOR	45

2.8.1 Trabalhando Com LabVIEW.....	45
2.8.2 Projeto do Testador no LabVIEW.....	47
4 IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA.....	49
5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	66

1 INTRODUÇÃO

O alto consumo de produtos industrializados no mercado mundial eleva a fabricação de artigos para embalagens. Uma das formas utilizadas para a produção de embalagens é o processo de sopro por extrusão que foi publicado em 1881, onde sugeria a moldagem de corpos ocos a partir de um tubo de polímero pré-formado. O dinâmico desenvolvimento pelo qual passou o processo teve vital influência do polietileno. A moldagem a sopro por extrusão é um dos processos mais importante para a fabricação de corpos soprados ocos [1].

Muitas empresas no Brasil são especialistas em trabalhar com polietileno, matéria prima das embalagens para produtos agrícolas, recipientes de limpeza, tanques para combustíveis, frascos para produtos químicos até mesmo para produtos farmacêuticos [1].

As resinas de polietileno, produzidas comercialmente há mais de 50 anos, representam um consumo mundial em torno de 38 milhões, deste total 2,319 milhões de toneladas são produzidas no Brasil por ano. Tamaña produção é justificada pelo preço do polímero e de seu alto efeito térmico de memória além de sua estabilidade e resistência do material à temperatura ambiente [2].

O processo de modelagem de materiais termoplásticos consiste em aquecer um tubo de polímero, realizar o fechamento do molde em volta do material termoplástico fundido, introduzir ar pressurizado através de um pino ou agulha promovendo sua expansão até que sua superfície da cavidade do molde atinja a forma do artigo desejado e, por fim, a refrigeração do produto [1].

As resinas de polietileno são normalmente classificadas pela sua densidade e estrutura molecular, sendo conhecidas como PEAD (polietileno de alta densidade) e PEBD (polietileno de baixa densidade) como principais polímeros deste segmento. O PEBD é um dos mais antigos termoplásticos conhecidos, pois foi introduzido no mercado no final da década de 30, com boa característica de memória, porém apresenta fácil deformação devido a sua baixa densidade. Por isso o PEBD foi utilizado em aplicações de embalagens maleáveis como sacos plásticos e artigos como fios e cabos. Já o PEAD começou a ser utilizado no final da década de 50 apresentando as mesmas características de memória, contudo com maior resistência a deformação. Dessa forma, o PEAD é muito aplicado em embalagens que

necessitam de uma maior resistência à deformação por queda e ao rompimento, sendo utilizado em tampas garrafas, potes, bombonas, tanques e tambores.

Aproximadamente 30% do consumo mundial de PEAD é destinado a modelagem por sopro, sendo a maior parte representada por frascos para higiene e limpeza e embalagens para produtos alimentícios [2].

1.1 JUSTIFICATIVA

A técnica de sopro por extrusão pode apresentar alguns problemas no processo de fabricação de embalagens. Um desses problemas é a fratura de fundido. Algumas dessas fraturas são visíveis a olho humano, porém com uma área muito pequena de dano sendo denominadas de microfuros.

As fraturas ocorrem por falta de regulagem da temperatura de aquecimento do PEAD ou pela não uniformidade da temperatura de resfriamento. Os moldes são providos de canais de refrigeração onde o meio refrigerante mais empregado é a água em baixas temperaturas. Nesse processo de refrigeração é importante que os canais de refrigeração estejam bem distribuídos a fim de permitir um resfriamento rápido e uniforme da peça soprada. A refrigeração desbalanceada exerce influências negativas nas propriedades finais do produto, como diferença de densidade ao longo do produto. Essa diferença ocasiona fragilidade em alguns pontos da peça é nesses pontos que pode ocorrer microfuros.

Algumas empresas especializadas em realizar testes de micro furos utilizam Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), com conversor, Analógico-Digital (AD) para análise de dados, porém o custo deste equipamento ultrapassa o valor R\$ 9000,00 [3]. A seguinte proposta visa desenvolver um dispositivo microcontrolador com um custo relativamente baixo que se estima inferior a R\$ 1700,00.

1.2 OBJETIVO

A presente proposta tem como objetivo estudar e projetar um sistema de monitoramento microcontrolado que verifica a existência de microfuros em recipientes de polietileno de alta densidade (PEAD) que são produzidos por envase em baixa pressão.

Os itens a seguir sintetizam e esclarecem os objetivos específicos deste trabalho, sendo estes:

- a) Projetar uma placa eletrônica;
- b) Estudar sensores de pressão;
- c) Desenvolver uma bancada de teste.

2 METODOLOGIA

De forma a orientar as análises da proposta completa deste trabalho, uma visão geral do sistema é apresentada na Figura 1.

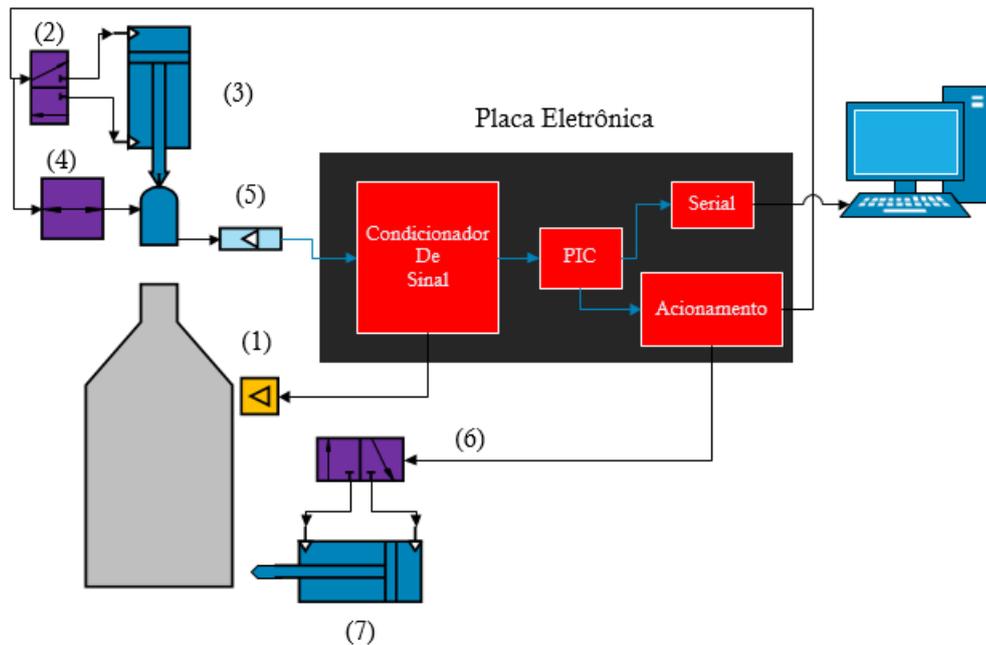


Figura 1: Representação ilustrativa do verificador de Microfuros

Fonte: Autoria Própria

O sistema é composto de 3 válvulas e 2 cilindros pneumáticos, 1 transdutor de pressão e 1 sensor foto elétrico, além de uma placa eletrônica que dispõe de uma etapa de condicionamento de sinal, onde o sinal do transdutor e do sensor fotoelétrico serão modificados até uma região aceitável para análise do microcontrolador (PIC). Depois do sinal ser examinado pelo PIC é realizada uma etapa de acionamento, e por meio de comunicação serial é passada uma curva de pressão da embalagem para um computador.

O sistema atua na ordem apresentada na Figura 1. Quando o frasco chegar na posição de testes de microfuros o sensor fotoelétrico representado pelo índice (1) irá constatar a presença do artigo, em seguida será passado essa informação para o PIC. O microcontrolador então enviará um sinal para a etapa de acionamento que comandará a válvula (2) e a válvula (4). A válvula (2) acionará o cilindro (3) e a válvula

(4) habilitará a injeção de ar dentro do frasco por 0,5 segundos. Com o término da injeção de ar o frasco ficará mais 4,5 segundos com o ar preso no seu interior. Neste período será levantada a curva de pressão do material, com o transdutor de pressão (5). Em seguida o sinal do transdutor será analisado e caso ocorra um vazamento que caracterize microfuros, será acionada a válvula (6) que acionará o cilindro (7) retirando o frasco da linha de produção.

Os sinais elétricos produzidos pelo transdutor podem ter baixas ou altas magnitudes sendo que alguns transdutores trabalham na escala de micro Volts e outros na ordem de décimos de Volts. Com essa observação e prevendo que o microcontrolador necessita de no máximo 5 V para realizar com perfeição a conversão do sinal analógico de tensão, necessita-se com isso de um conversor de sinal.

A metodologia usada no decorrer deste pré-projeto segue a seguinte ordenação, (a) Estudo para escolha do transdutor de pressão melhor dimensionado para esta aplicação (b) projeto de placa eletrônica para o conversor de sinal (c) analisar os sensores fotoelétricos para o alcance necessário (d) seleção de válvulas e cilindros pneumáticos adequados (d) estudo do melhor microcontrolador.

2.1 TRANSDUTOR DE PRESSÃO

Os transdutores de pressão são elementos que monitoram a quantidade de força entre um material ou meio, podendo basicamente converter a pressão ou força de deslocamento em sinal elétrico.

Uma membrana denominada diafragma sofre deformidades ao longo de sua área quando é aplicada uma diferença de pressão. Essa deformidade faz com que esse elemento varie sua curva ao longo da membrana, aumentando o valor de deflexão como é possível visualizar na Figura 2. Portanto, medindo o deslocamento de membrana obtém-se indiretamente a pressão.

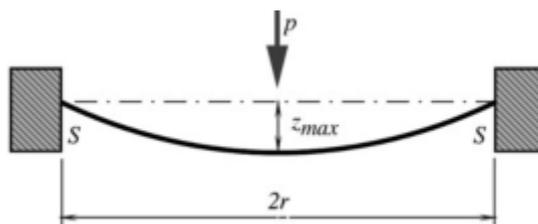


Figura 2: Deflexão Máxima (z_{max}): Diafragma Sobre Pressão

Fonte: [4].

A pressão nominal sobre um diafragma é a força de deslocamento do ar em que suas características de resistência e elasticidade resistem de forma natural, sem comprometer sua virtude de funcionamento.

Deve-se tomar cuidado com a pressão excessiva sobre o diafragma, sabendo que esta membrana possui um máximo ponto de estresse antes de seu rompimento. Com isso existe um ponto máximo de pressão antes da ruptura da membrana. Em outras palavras cada fabricante apresenta em seu catálogo o limite de seu transdutor a partir de seu diafragma, sendo que alguns produtos podem suportar pressões de trabalho entre 2 a 5 vezes da pressão nominal.

A deflexão ou deslocamento da membrana pode ser mensurado por transdutores piezelétrico, capacitivo, resistivo.

2.1.1 Transdutores de pressão piezelétrico

Um sensor piezelétrico é um dispositivo que usa a habilidade dos cristais de produzir uma diferença de potencial quando submetidos a uma deformação mecânica. Isso acontece porque, quando submetidos à deformação mecânica, alguns materiais apresentam suas estruturas atômicas desalinhadas, gerando dipolos elétricos [5]. Por definição dipolos elétricos consistem em um sistema de duas cargas de sinais contrários e de igual intensidade separadas entre si por uma distância muito curta. A piezo-eletricidade foi descoberto por Pierre e Jaques Curie em 1880 [6].

A principal vantagem dos tradutores piezelétricos consistem em medir faixas largas de pressões, de 10^2 a 10^8 Pa, com resposta rápida. Entretanto, existe um limite que deve ser considerado nesses transdutores. Trata-se da frequência de ressonância do cristal que é da ordem de centenas de quilohertz, portanto não podem medir

pressões estáticas. Além disso, necessita de um circuito de alta impedância e alto ganho, sendo suscetível a ruídos [5].

2.1.2 Transdutores de pressão capacitivo

Este tipo de transdutor utiliza o princípio capacitivo. Quando o sistema é submetido a uma pressão, a membrana movimenta-se, modificando a distância entre as placas do capacitor e seu valor de capacitância, como é apresentado na fórmula a seguir:

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}, \quad (2.1)$$

sendo ε permissividade ou a constante dielétrica do material entre as placas, A a área das placas e d distância entre elas.

Os sensores capacitivos possuem uma faixa de escala de 10^{-3} a 10^7 Pa e precisão da ordem de 0,1% da leitura ou 0,01% do fundo de escala [7].

2.1.3 Transdutores de pressão piezorresistivo

Este tipo de transdutor utiliza a variação da resistência elétrica quando submetida a uma força que cause uma conseqüente deformação. Os extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*) são os sensores fundamentais geralmente utilizados para esta função [8]. Além disso, a maioria destes dispositivos de pressão piezorresistivos é constituída pela integração de diafragma (nome do componente que sofre a deformação mecânica com a variação de pressão) no próprio silício com a mesma tecnologia utilizada em circuitos integrados, com isso é possível obter sensores menores de melhor uniformidade em seu desempenho.

Alguns problemas são visíveis neste dispositivo como geração de sinais relativamente pequenos, além da sensibilidade a variações de temperatura [9]. Porém, este tipo de sensor possui boa característica de linearidade na relação do sensor tensão de saída/pressão de entrada, e geralmente desvios menores de 1% [10]. Além de ser entre todos os sensores de pressão apresentados anteriormente o mais barato para aplicações com média pressão (que variam de 1 Pa até 100.000 Pa).

2.1.4 Escolha transdutor do transdutor de pressão

Quando se escolhe um sensor para medição de vibração, devem ser considerados alguns aspectos destacando-se:

A faixa de frequência e a amplitude: um dos principais parâmetros para determinação do instrumento a ser usado é a faixa de frequências [11]. Além disso, é necessário compreender a amplitude de pressão a ser utilizada sendo que os transdutores se diferenciam com a variação dessa faixa de pressão.

O tamanho do corpo a ser testado: uma vez que a vibração depende da massa do sistema, instrumentos que possuam grandes massas quando comparados ao sistema a ser medido influem nas medições podendo distorcer os resultados [11].

Como será necessário trabalhar com pressões em torno de 120.000 Pa optou-se pelo transdutor piezorresistivo que possui uma boa característica linear, além de possuir um preço mais baixo que os outros.

2.1.5 Transdutor de pressão piezoressitivo utilizando substrato de silício

Os sensores de pressão piezorresistivo variam a resistência elétrica de elementos sensores quando submetidos a uma força e uma consequente deformação. Os extensômetros de resistência elétrica (*strain gages*) são os sensores fundamentais, geralmente utilizados para esta função na fabricação de células de carga, para medição de força [12].

Os extensômetros podem ser fixados em um diagrama de área determinada, medindo as deformações causadas pela aplicação de uma pressão. Entretanto, a maioria dos dispositivos de pressão piezorresistivos é construída com a integração de elementos sensores em um diafragma no próprio silício com a mesma tecnologia utilizada em circuitos integrados. Com isso, é possível construir sensores menores e mais uniformes com características muito bem definidas. A utilização do silício como substrato na fabricação de sensores de pressão vem do fato do silício ser empregado, tanto para a micro usinagem quanto para a utilização como processos de microeletrônica, assim as qualidades podem ser enumeradas [13].

- Fator de ganho do semicondutor com relação a metais é dezenas de vezes maior, ou seja, a variação da resistência com aplicação de pressão é maior para o silício do que para os metais,
- Utilização da membrana e dos componentes em um só material diminui o efeito do *stress*,
- Técnica de miniaturização dos sensores, o que relativamente diminui o custo,
- Circuitaria eletrônica integrada conhecida para a compensação e calibração ou amplificação,

De maneira geral, quando um material sofre um *stress* mecânico e sua resistividade é alterada, como no caso mencionado, dizemos que o material possui propriedades piezoresistivas [14].

2.1.6 Trabalhando com transdutor piezoresistivo

Para este projeto, o transdutor utilizado trata-se do modelo série 641-642 da MEMS Ltda. que utiliza o princípio piezoresistivo, e dispõe do processamento de sinal digital para calibrar e compensar o sensor. Alta exatidão é fornecida nas faixas de pressão oferecidas de 0,1 a 800 bar [15]. A figura 3 apresenta a estrutura lógica interna do transdutor da MEMS.

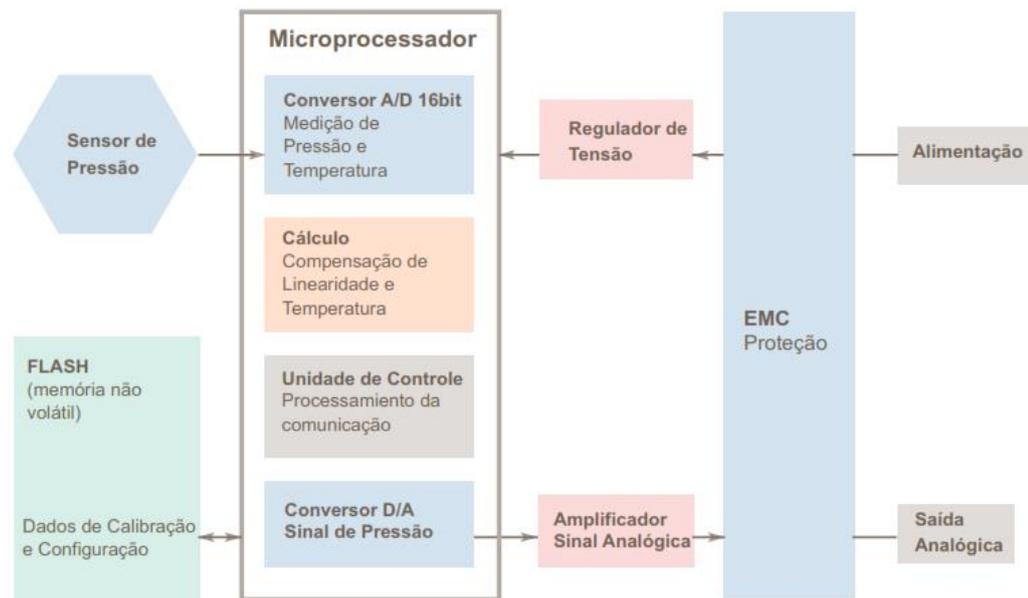


Figura 3: Estrutura lógica do transdutor pressão MEMS série 641-642.

Fonte: [15].

O diagrama da Figura 3 detalha o funcionamento em algumas etapas. Inicialmente o sinal do sensor de pressão é medido até 500 vezes por segundo com um conversor 16 bits A/D. Após a medição, o valor exato da pressão é calculado (eliminando os erros de temperatura). O sinal de saída analógico é atualizado através do conversor A/D. Esta tecnologia permite medições de pressão rápidas de alta precisão, mesmo em faixas de temperatura elevada [15].

2.3 CONDICIONADOR DE SINAL

Muitas aplicações no campo de sensoriamento industrial necessitam condicionar o sinal. Quando a grandeza a ser medida não é elétrica, utilizam-se transdutores que geram sinais elétricos na saída. O sinal analógico tem que ser previamente condicionado com o fim de estar em condições compatíveis para ser requisitado pelo microcontrolador.

O condicionador também contemplará uma etapa de alimentação dos dispositivos como microcontrolador, sensores e válvula. Esta etapa garantirá tensão e corrente suficientes para o funcionamento independente dos dispositivos.

A Figura 3 mostra o relacionamento do condicionador de sinal com os demais elementos juntamente com o valor de tensão que ele entrega.

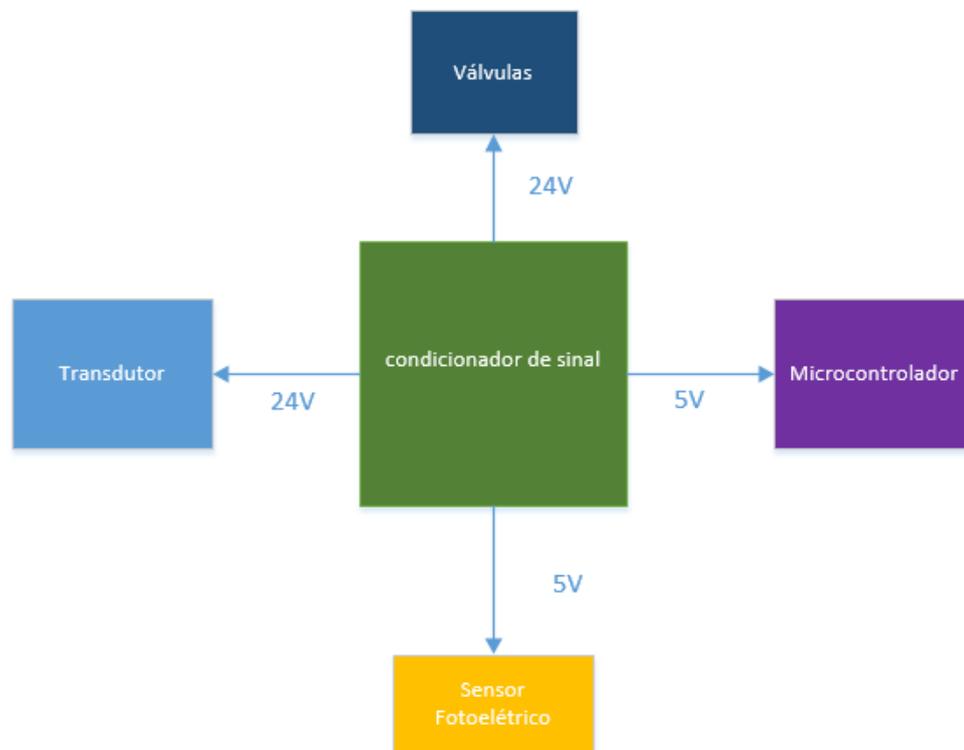


Figura 3: Etapa de Alimentação da Placa Condicionadora de Sinal

Fonte: Autoria Própria

Além de garantir a alimentação necessária haverá uma etapa de proteção para bloquear surtos de alta tensão com o fim de proteger o circuito e o transdutor de pressão.

E por fim uma etapa de acionamento das válvulas utilizando o transistor para ligar os dispositivos na tensão adequada. Também será projetado um circuito para leitura do sensor fotoelétrico.

2.3.1 Projeto da fonte de alimentação

Com a necessidade de alimentar sensores, válvulas e o microcontrolador foi desenvolvida uma placa de alimentação que fornece tensões de 5 e 24V.

A escolha dos reguladores a serem utilizados deve ser uma tarefa bastante cuidadosa, pois são eles que vão garantir a integridade e funcionalidade do sistema. Para garantir uma tensão constante na saída e sabendo que a corrente total do projeto não ultrapassará 1A optou-se pela utilização do regulador de tensão integrado LM317 [16].

A Figura 4 mostra o diagrama de blocos completo da fonte regulada.

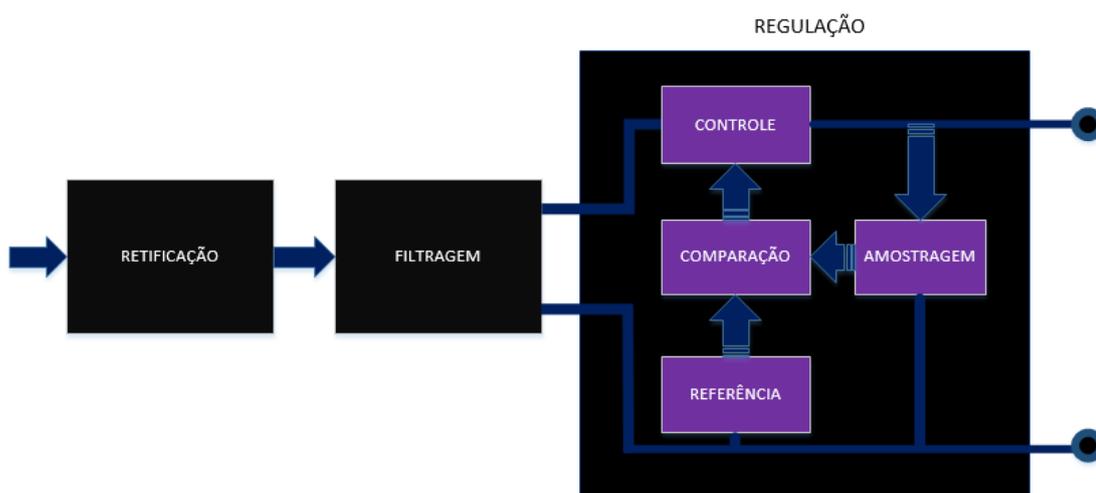


Figura 4: Diagrama de blocos do projeto da fonte reguladora

Fonte: Autoria Própria

Os dois primeiros blocos mostrados na Figura 4 representam a transformação da tensão alternada da rede em tensão contínua filtrada. Já no bloco de regulação ocorre um processo de comparar e controlar a tensão para que seja fornecida uma tensão estabilizada, este bloco é realizado pelo LM317 [16].

O projeto da fonte se fará basicamente pelo projeto das partes que a compõe, apresentadas a seguir:

O bloco de retificação faz a transformação de tensão alternada em contínua pulsada. Esse processo é executado com o emprego de diodos, ligados de forma a fornecer uma retificação de meia onda ou onda completa.

O bloco de controle representa o regulador, que recebe a tensão do comparador e realiza a correção na tensão de saída da fonte.

Entendo como funciona a conversão de sinal alternado para contínuo pode-se apresentar o circuito utilizado para transformar 127V de tensão alternada em 24 V e 5 V de tensão contínua.

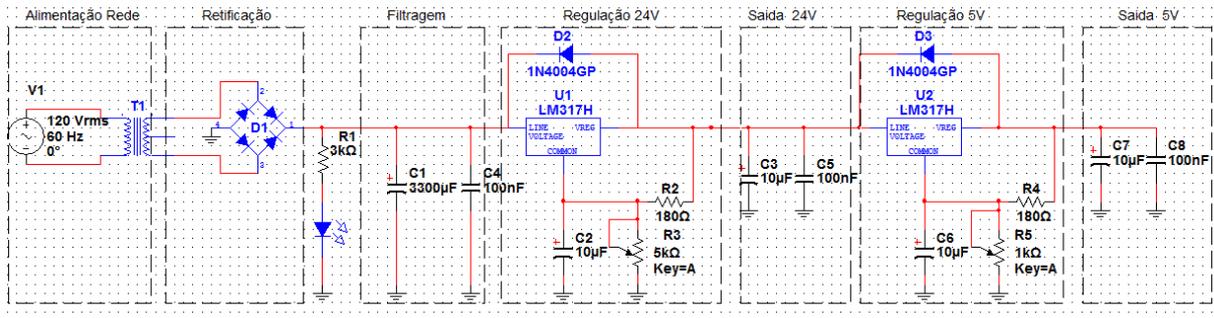


Figura 5: Circuito da fonte reguladora

Fonte: Autoria Própria

A Figura 5 apresenta o circuito completo da fonte regulada, segmentado em 7 etapas sendo que a primeira é a alimentação da rede, que seria a tensão fornecida por uma tomada, depois de entrar com uma tensão de 127 V o transformador rebaixada para 24 V. Na saída do transformador é localizada a etapa de retificação onde a ponte de diodos converte a tensão alternada em contínua pulsada, em seguida dois capacitores filtraram a onda com o objetivo de atingir o regime contínuo. Depois do ponto de filtragem ocorre a regulação nesta etapa o regulador de tensão utiliza a relação das resistências R3 e R2 para regular a tensão de saída por meio da relação.

$$V_{out} = 1,25 \left(1 + \frac{R3}{R2} \right). \quad (2.2)$$

Como precisa-se de uma tensão de 24 V e possui-se uma resistência de R2 de 180Ω seria necessário um resistor R3 de 2782 Ω. Então para chegar a um ajuste fino e alcançar a tensão necessária foi utilizado um potenciômetro com o objetivo de alcançar uma tensão precisa na saída. O diodo D3 ligado com o cátodo na saída e o ânodo na entrada serve para impedir que capacitores externos, C3 e C5, descarreguem através do pino de saída do LM317. Agora com a tensão retificada filtrada e estabilizada em 24 V contínuos se torna mais fácil criar mais uma saída controlada para 5 V, é possível chegar nesse nível de tensão acoplado outro regulador LM317 rebaixando a tensão para o nível de alimentação do microcontrolador e do sensor foto elétrico.

2.3.2 Projeto do circuito de acionamento

O projeto da etapa de acionamento foi levado em consideração:

- Corrente de acionamento da válvula solenoide
- Tempo para a solenoide acionar a válvula
- Configuração para o transistor trabalhar como chave
- Circuito para descarregar o solenoide

Para o dimensionamento do circuito de acionamento, é fundamental que se realize a especificação de alguns parâmetros. Como este circuito foi projetado para acionar uma válvula solenoide, considerou-se este dispositivo como uma ligação série de um resistor com um indutor como é possível identificar Figura 6. O objetivo destas considerações é determinar a resposta do dispositivo que entendemos ser a corrente que ativa o solenoide.

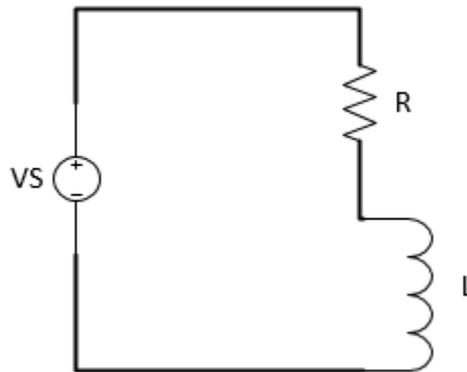


Figura 6: Aproximação de uma válvula solenoide com circuito RL

Fonte: Autoria Própria.

A corrente no indutor, L não pode mudar instantaneamente. Em $t = 0$, supomos que o indutor tenha corrente inicial I_0 , a energia correspondente armazenada no indutor e dada por [17].

$$w(0) = \frac{1}{2} LI_0^2. \quad (2.3)$$

Como a carga resistiva esta interligada com o indutor, pode-se chegar que no estado que as cargas se cancelam em algum instante de tempo $t(x)$

$$V_L + V_R = 0. \quad (2.4)$$

Porém $V_L = L \cdot \frac{di}{dt}$ e $V_R = I \cdot R$ rearranjando os termos [17].

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L} \cdot I = 0. \quad (2.5)$$

Como necessita-se da resposta temporal do circuito, é preciso realizar a integração [17].

$$\int_{i_0}^{i(t)} \frac{di}{I} = - \int_0^t \frac{R}{L} dt \quad (2.6)$$

Trabalhando a equação, obtemos

$$i(t) = I_0 \cdot e^{-R \cdot t / L}. \quad (2.7)$$

Isso demonstra que a resposta natural de um circuito RL é uma queda exponencial da corrente natural [17]. Esta informação foi extremamente importante para o projeto. Na medida em que o solenoide for acionado, ocorrerá um acúmulo de energia no dispositivo, sabendo disso é necessário que este circuito descarregue o solenoide sempre que este seja desligado.

Pode-se com uma análise similar apresentar o tempo de carga do solenoide, este tempo será importante posteriormente, na implementação do código de acionamento que levará em consideração o tempo para o acionamento da válvula solenoide.

Uma vez que a resposta de corrente no solenoide seja a soma da resposta transiente e da resposta em regime estacionário [18] apresentado na equação (2.8).

$$I = I_t + I_{ss} \quad (2.8)$$

A resposta transiente sempre é uma em queda, isto é [18]:

$$I_t = A e^{-t/\tau}, \quad \tau = \frac{L}{R}. \quad (2.9)$$

A resposta em regime estacionário seria o valor de corrente no momento que o indutor se torna um curto-circuito sendo que a tensão nele se torna zero. Toda a tensão na entrada V_s cai em R conseqüentemente a resposta em regime estacionário fica [18].

$$I_{ss} = \frac{V_s}{R}. \quad (2.10)$$

Substituindo as equações (2.9) e (2.8) na expressão (2.7) resulta em

$$I = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{V_s}{R}. \quad (2.11)$$

Agora, será determinado a constante A do valor inicial de I . Seja que I_0 seja a corrente inicial pelo indutor. Portanto para o instante de tempo zero [18].

$$I_0 = A + \frac{V_s}{R}. \quad (2.12)$$

Isolando A da equação 2.11 e substituindo na 2.10, obtem-se:

$$i(t) = \frac{V_s}{R} + \left(I_0 - \frac{V_s}{R}\right) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (2.13)$$

Partindo-se do ponto que o solenoide sempre é descarregado em cada ciclo de operação, sendo assim o I_0 seria igual à zero, então

$$i(t) = \frac{V_s}{R} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \quad (2.14)$$

Dessa forma, chega-se ao valor de corrente máxima, que seria $\frac{V_s}{R}$ além de identificarmos o tempo necessário para acionar a válvula solenoide por completo, mas para determinarmos esse tempo precisa-se conhecer a resistência interna do solenoide.

Como é possível identificar no corpo do solenoide sua potência como sendo 2,5W e determinando-se sua resistência interna com o auxílio de um multímetro medindo chegando no valor de 230Ω . Utilizando a equação 2.14 atribuindo um valor de tempo infinito, podemos com isso chegar ao valor de corrente ativa do solenoide é 104,17mA e substituindo estes valores na equação 2.14 determina-se o tempo de acionamento com sendo $790\mu s$.

Para que o transistor funcione como chave, onde pode ser controlado em estado desligado e ligado, deve ser utilizado os modos de operação no modo de corte e na saturação. Utilizando a topologia emissor comum que pode ser vista Figura 7. Com a saída do microcontrolador estiver com tensão menor 0,5V, o transistor estará e, corte; portanto, $I_b = 0$, $i_c = 0$, portanto a chave está na posição de aberta.

Para fazer o transistor conduzir, aumentando-se a tensão de saída do microcontrolador acima de 0,5V para o transistor entrar no modo de saturação, neste estado a chave está fechada e circula corrente no em I_b e i_c [19].

Para que o transistor opere sob essas condições foi considerada aproximação do Sedra, que a resistência da base seja dimensionada sobre um fator de 10 com relação a resistência do coletor [20]. Por essa razão foi utilizado a resistência de base no valor de 2,4 k Ω para R1 (Figura 7). E o resistor R2 tem a função de manter o transistor em corte, quando a porta de acionamento do microcontrolador não está definida como saída.

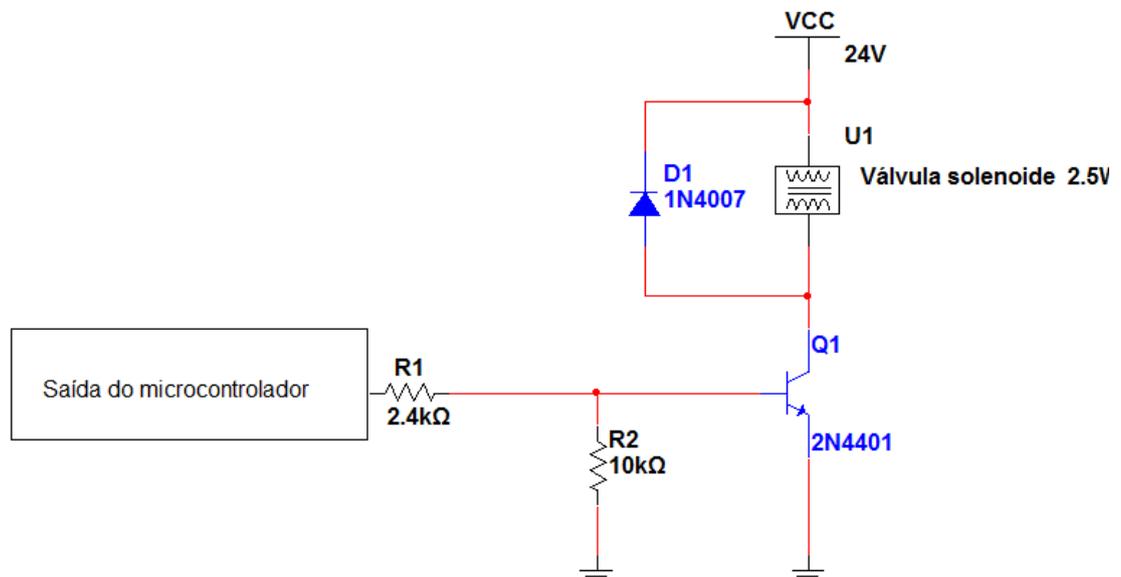


Figura 7: Circuito de acionamento

Fonte: Autoria Própria.

Para descarregarmos o solenoide pode ser colocado o diodo em paralelo com o solenoide como é apresentado na Figura 7. Durante o estado de ligado do transistor, o diodo é polarizado reversamente, permanecendo como circuito aberto, não afetando a corrente que circula no solenoide. Porém quando o transistor estiver como desligado, o diodo ficará diretamente polarizado, com isso a corrente circulará dentro desta malha até que a corrente decaia a zero [21].

2.3.3 Projeto do circuito de reinicialização do microcontrolador

Como este projeto tem o propósito de elevar a qualidade dos frascos que utilizam PEAD, foi necessário que cada teste fosse realizado com exatidão, pensando nisso previu-se possíveis riscos que possam alterar o funcionamento do microcontrolador.

Existem vários eventos possíveis que podem causar uma reinicialização do sistema microcontrolado. A principal motivação para utilizar este circuito, seria para correção de problemas, caso ocorra flutuação na tensão de entrada, não deixando o circuito operar de forma efetiva.

O tempo para inicialização do microcontrolador tem valor fixo que corresponde a 64 ms este fornecera um tempo considerável, caso ocorra flutuação de tensão na alimentação do dispositivo [21].

O circuito da Figura 8 é responsável pela reinicialização do sistema.

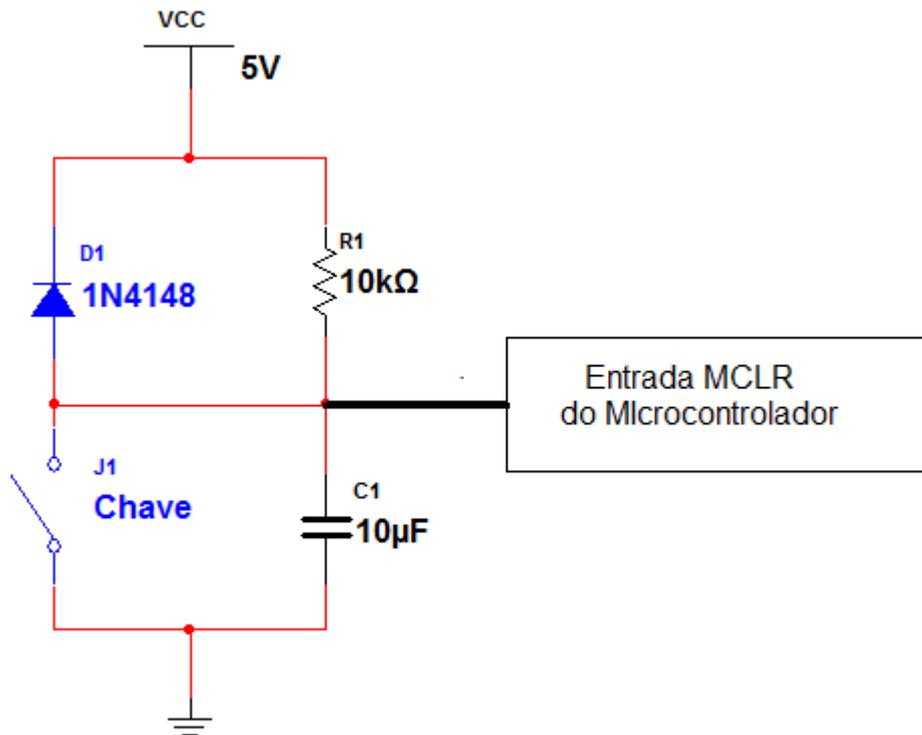


Figura 8: Circuito de reinicialização

Fonte: Autoria Própria.

Para criar um temporizador foi utilizado o capacitor de $10 \mu F$ juntamente com o resistor de $10 k\Omega$ causando com isso um tempo maior que o tempo de energização do microcontrolador, foi possível chegar nesse valor analisando o tempo de descarga de um circuito RC .

O tempo para o capacitor alcançar metade do valor da tensão de alimentação é dado por Sadiku como:

$$t = 0,6931 \cdot R \cdot C \quad (2.15)$$

Substituindo os valores de resistência e capacitância projetados na Figura 8 chega-se:

$$t = 0,6931 \cdot 10k \cdot 10\mu = 69,31ms \quad (2.16)$$

Este tempo sustentará o sistema caso ocorra um surto de tensão. O papel do diodo tem é auxiliar a descarregar o capacitor rapidamente quando ocorrer uma variação na tensão de alimentação.

2.4 SENSOR FOTOELÉTRICO

O sensor fotoelétrico é um dispositivo ativo de presença que detecta um feixe de luz visível ou invisível, e responde a uma variação da intensidade luminosa recebida.

O funcionamento do sensor baseia-se na existência de um emissor e receptor. O emissor contém a fonte de energia luminosa que pode ser um diodo emissor de luz (*LED – light emitting diode*) ou um laser, e esta fonte luminosa é modulada por um oscilador. O receptor contém um elemento, tal como um fotodiodo ou um fototransistor, que detecta a luz vinda do emissor e converte a intensidade de luz em uma tensão elétrica. Em aplicações industriais é normalmente observado o seu modo de detecção de objetos como:

- a) Modo oposto de detecção
- b) Modo retrorreflexivo
- c) Modo difuso de detecção

2.4.1 Sensor óptico de barreira

Este modo oposto de detecção é conhecido como sensor de barreira, sendo um dos métodos mais confiável e também o mais utilizado no meio industrial, porém sua aplicação depende da estrutura mecânica do equipamento a ser inserido, sendo essa a principal dificuldade de sua aplicação.

O sensor possui o emissor e o receptor montados em dispositivos separados. Ao serem instalados os dois criam entre si uma barreira de luz. A presença de um objeto interrompendo a barreira de luz faz com que o sensor ative. Esta característica confere o alto grau de confiabilidade deste modo. A ilustra deste princípio é apresentado na Figura 9.

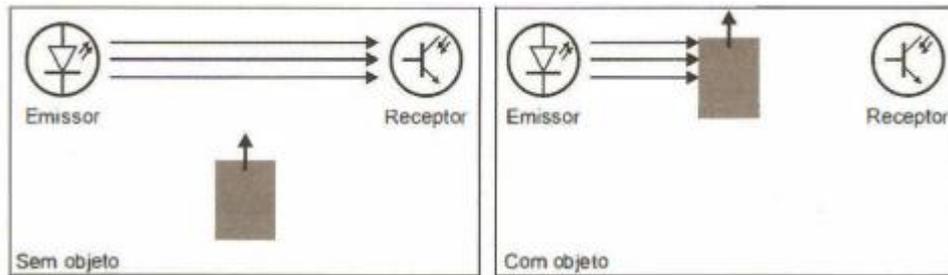


Figura 9: Sensor Óptico de Barreira

Fonte: [22].

2.4.2 Sensor óptico por retroreflexão

Este tipo de sensor fotoelétrico é um dos modos que oferece maior nível de confiabilidade e oferece distâncias de detecção relativamente longas. Ao contrário do sensor de barreira, o retroreflexivo contém os elementos do transmissor e receptor no mesmo encapsulamento. Seu feixe efetivo é estabelecido entre o emissor, o retrorefletor, e o receptor. A detecção ocorre quando um objeto interrompe tal feixe, conforme mostra a Figura 10.

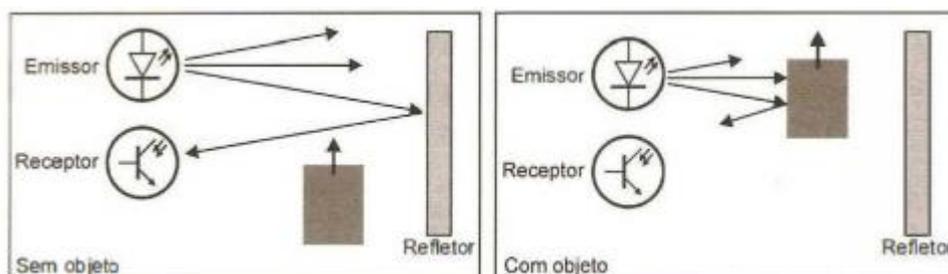


Figura 10: Sensor Óptico por Retroreflexão

Fonte: [22].

Este tipo de sensor não é dependente da refletividade dos objetos a serem destacados. Objetos transparentes possivelmente não são detectados por esse método.

2.4.3 Sensor óptico por reflexão difusa

Neste tipo de detecção por reflexão difusa o emissor e o receptor são montados no mesmo dispositivo, a luz emitida pelo sensor incide na superfície do objeto a ser detectado sendo difundida de volta, enviando uma fração desta ao receptor, que está no mesmo encapsulamento do emissor.

Os sensores difusos são extremamente simples com relação a sua instalação, uma vez que é necessária a instalação de um único dispositivo, sendo que o emissor e o transmissor do sensor estão situados na mesma carcaça. Isso dá uma vantagem em aplicações onde o sensor só pode ser posicionado em um lado.

Deve-se atentar que este modo de detecção é influenciado pela refletividade da superfície do objeto a ser detectado. Esta refletividade afeta diretamente a distância na qual o mesmo pode ser detectado como pode ser visto na Figura 11.

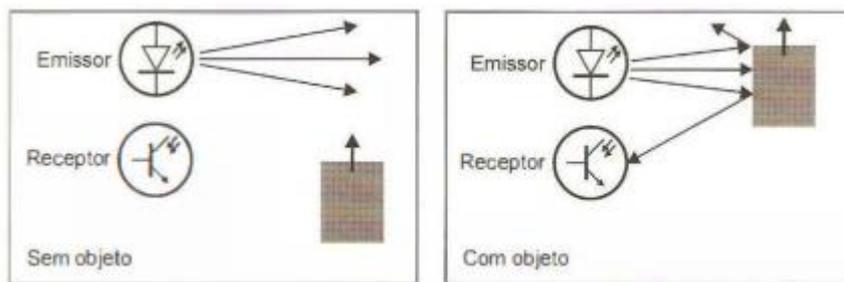


Figura 11: Sensor Tipo Reflexão Difusa

Fonte: [22].

2.4.4 Escolha do sensor óptico

Neste trabalho foi utilizado o sensor de reflexão difusa, para detectar embalagens de PEAD, pela facilidade na instalação que ele apresenta na comparação com os outros sensores abordados anteriormente.

2.5 DESCRIÇÃO DOS ATUADORES PNEUMÁTICOS

Os atuadores pneumáticos, também conhecidos por cilindros e pistões pneumáticos, são na verdade elementos que realizam trabalho, pois são dispositivos

que transformam energia do ar comprimido em trabalho mecânico através de movimentos lineares ou giratórios.

Os cilindros pneumáticos são divididos em dois grupos:

- a) Atuadores de simples ação
- b) Atuadores de dupla ação

2.5.1 Atuadores de Simples Ação

O cilindro de simples ação realiza trabalho em uma só direção do curso, sendo que o retorno à posição pode se dar por ação de mola ou de algum dispositivo externo.

Normalmente cilindros de ação simples são utilizados para aplicações pequenas pelo fato de possuir um curso de trabalho limitado devido ao tamanho da mola. Para ilustração é possível visualizar o cilindro de simples ação na Figura 12.

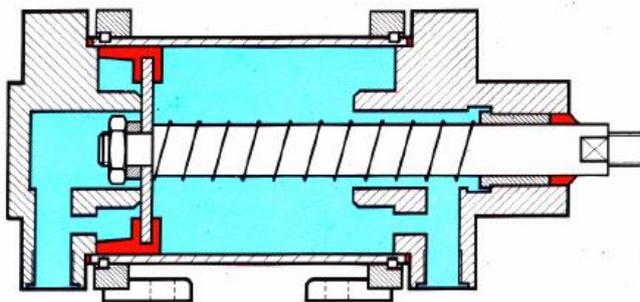


Figura 12: Cilindro de Simples Ação: Estado de retorno

Fonte: [23].

2.5.2 Atuadores de Dupla Ação

O cilindro de dupla ação realiza trabalho em ambas as direções de avanço e de retorno, possuindo duas conexões de ar.

O consumo de ar é maior que o de simples ação, por utilizar pressão tanto para direção de avanço e de retorno. Estes cilindros atingem escalas maiores que o cilindro de ação simples, este pode ser aplicado em dispositivos que necessitam de um curso maior. Para ilustração é possível visualizar o cilindro de dupla ação na Figura 13.

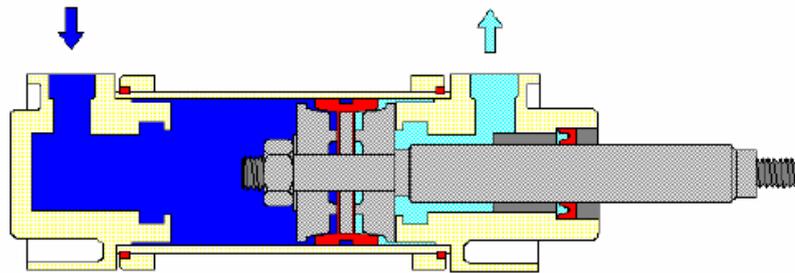


Figura 13: Cilindro de Dupla Ação: Estado de avanço

Fonte: [24].

2.5.3 Escolha do Atuador

Neste trabalho foram empregados atuadores de dupla ação por possuírem maior alcance que os atuadores de simples ação. Este fato ajudará nos testes dando uma região de trabalho mais ampla na construção da bancada de testes.

2.6 DESCRIÇÃO DAS VÁLVULA PNEUMÁTICAS

A válvula é um componente do circuito pneumático que se destina a controlar a direção da pressão ou vazão do ar comprimido. Elas podem ser de controle direcional de 2,3,4 ou 5 vias. Além disso podem ser reguladoras de vazão ou pressão podendo também realizar bloqueios.

Para o presente trabalho necessitou-se de válvulas de controle direcional. Para acionar os cilindros serão utilizadas duas válvulas de 3 vias. Além disso, foi necessário utilizar uma válvula de 2 vias para habilitar a inserção de ar dentro do frasco.

Para o acionamento destas válvulas foi utilizado o solenoide que se combina com o corpo da válvula [25].

2.7 MICROCONTROLADOR

O microcontrolador é um componente eletrônico dotado de inteligência programável, utilizado no controle de processos lógicos. Ele possui uma unidade

lógica aritmética, onde todas as operações matemáticas e lógicas são executadas. Toda essa lógica é estruturada na forma de um programa e gravada dentro do componente. Existem atualmente inúmeras empresas que fabricam este componente. Por facilidade de compra no mercado nacional optou-se por utilizar o produto da Microchip Technology Inc. empresa que produz o microcontrolador PIC que possui uma boa diversidade de recursos, capacidades de processamento, custo e flexibilidade de aplicações.

O microcontroladores PIC são dispositivos que processam dados em alta velocidade. A essa característica é justificada pela sua arquitetura Harvard que se distingue das outras arquiteturas por possuir duas memórias diferentes e independentes em termos de barramento, mas ligadas ao processador. Nessa separação de barramentos de instruções de programa e da memória de dados permitem que o processador possa acessar de forma simultânea os dois campos. Além disso, é interligado com a CPU a ALU, onde são realizados os cálculos matemáticos e onde existe um barramento para entradas e saída como é possível visualizar na Figura 14.

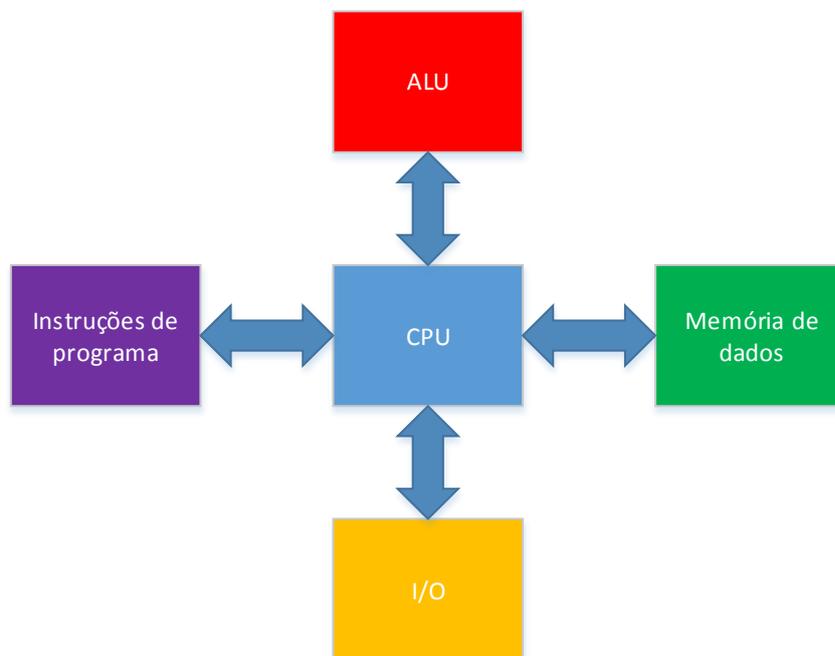


Figura 14: Representação da Arquitetura Harvard

Fonte: Autoria Própria.

Basicamente o uso de um microcontrolador consiste no processamento de dados obtidos em um de seus periféricos, tendo como saída outro conjunto de dados. Estes dispositivos podem ter agregados inúmeras funcionalidades, tais como: memórias SRAM, EEPROM e FLASH; conversores AD, DA; vários temporizadores e contadores; comparadores analógicos; PWM; e diferentes tipos de interface de comunicação.

2.6.1 Escolha do microcontrolador

A escolha apresentou as condições mínimas para o funcionamento do projeto. Estas condições são de que o microcontrolador deve possuir pelo menos 1 entradas AD. Será necessário um dispositivo que possua pelo menos 4 I/O para o acionamento das válvulas. Também deve possuir *timer's* para controlar o tempo de testes além de possuir comunicação *serial* ou *USB*, para aquisição de dados para levantamentos de curva de pressão. Os requisitos do microcontrolador estão dispostos na

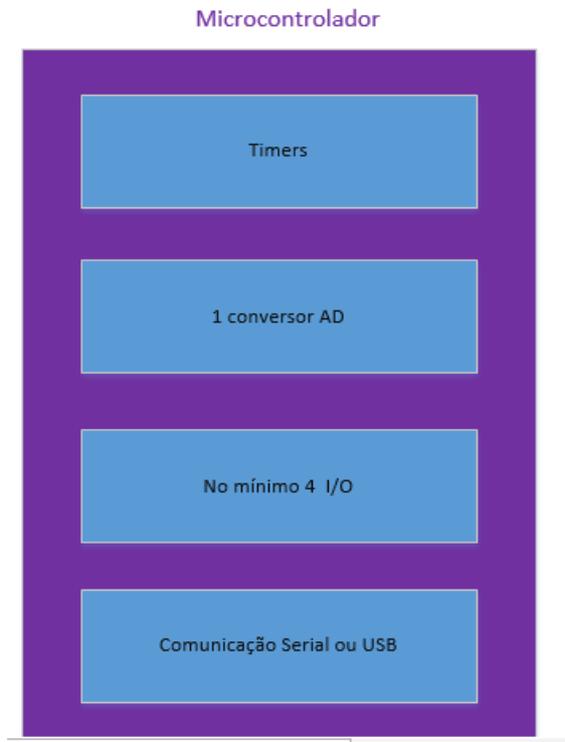


Figura 15.

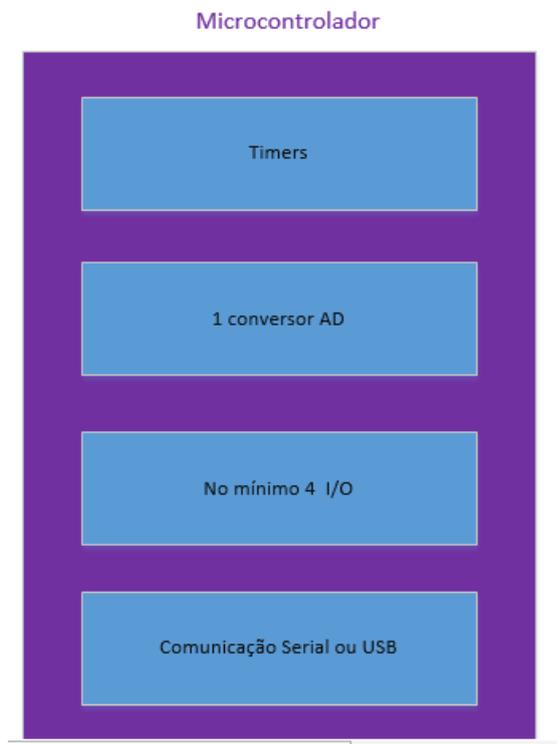


Figura 15: Características do Microcontrolador a ser usado

Fonte: Autoria Própria

2.6.2 Trabalhando com o microcontrolador

O PIC utilizado foi o 16F688. A sua estrutura encontra-se na Figura 16.

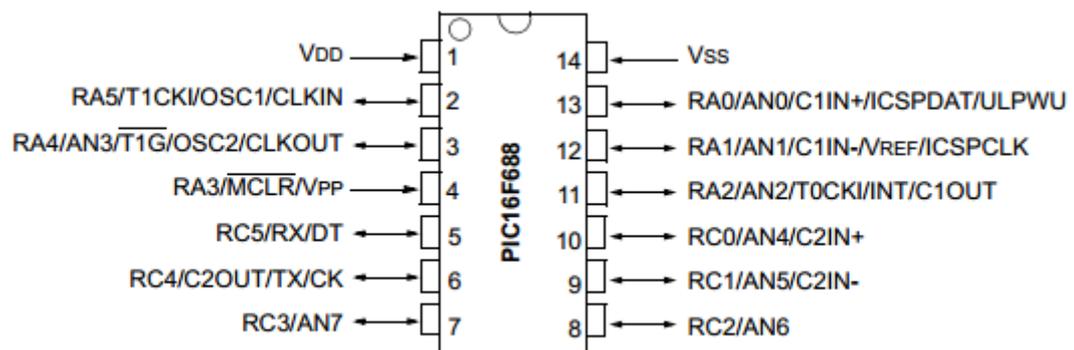


Figura 16: Esquema Microcontrolador PIC 16F688.

Fonte: [27].

Semelhante ao PORTA o PORTC também tem 6 pinos I/O bidirecionais. Cada um dos pinos pode ser selecionado como entrada ou saída, definido na configuração que é possível visualizar na Figura 18.

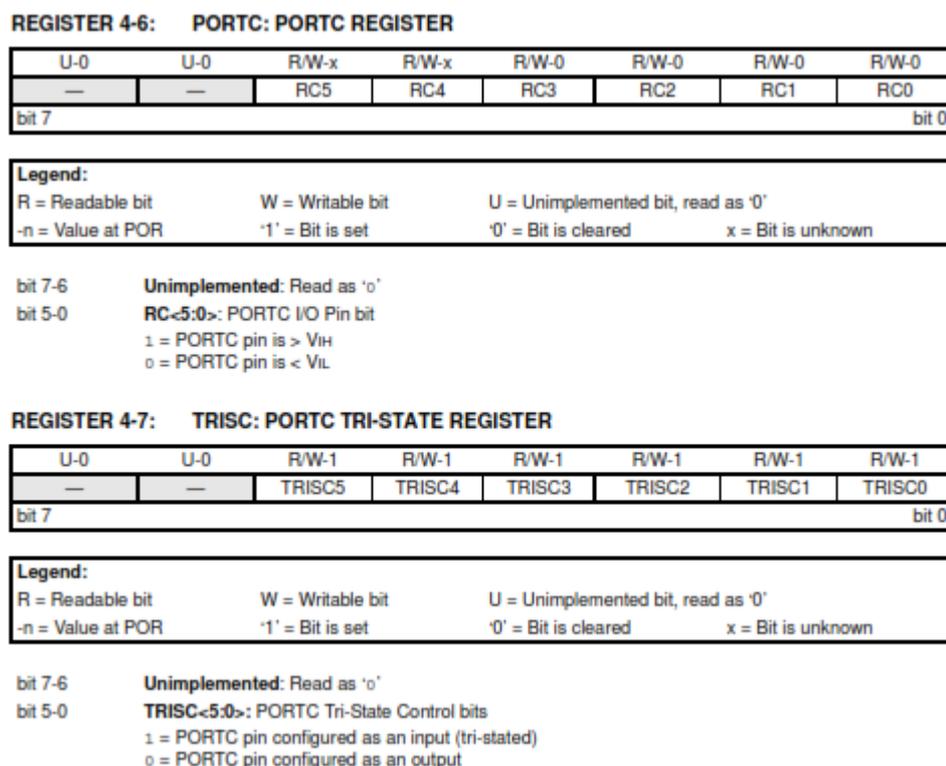


Figura 18: Representação do registrador do PORTC e registrador do TRISC

Fonte: [27].

O mais importante para este trabalho é entender como funciona o conversor AD deste microcontrolador, este possui dois comparadores de tensão analógicos e oito canais AD de 10 bits. As entradas para os comparadores são multiplexadas com I/O pinos para porta RA0, RA1, RC0, RC1 enquanto as saídas são multiplexadas para os pinos RA2 E RC4.

O registrador CMCON0 configura as entradas analógicas. Para utilizar os pinos analógicos como entradas digitais, os comparadores devem ser desligados, isso pode ser feito através da atribuição de valor decimal 7 a CMCON0. Além disso, o registrador ANSEL deve ser inicializado para decimal zero com isso será configurado todos os canais ADC como entradas digitais.

2.6.3 Protocolo UART

O protocolo EIA/TIA-232 é um padrão de comunicação muito utilizado no meio industrial. Para implementar esta transmissão de dados serial é utilizado um recurso chamado UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*) [28].

A transmissão de dados utilizado neste padrão é assíncrona, sendo transmitido um bit por vez. Como isso foi necessário definir quando a mensagem inicia e termina, para isso foi utilizado um start bit e um stop bit para cada byte transferido Figura 19. Além disso, podem ser definidas diferentes velocidades de transmissão, desde que o transmissor e receptor estejam configurados com a mesma velocidade.

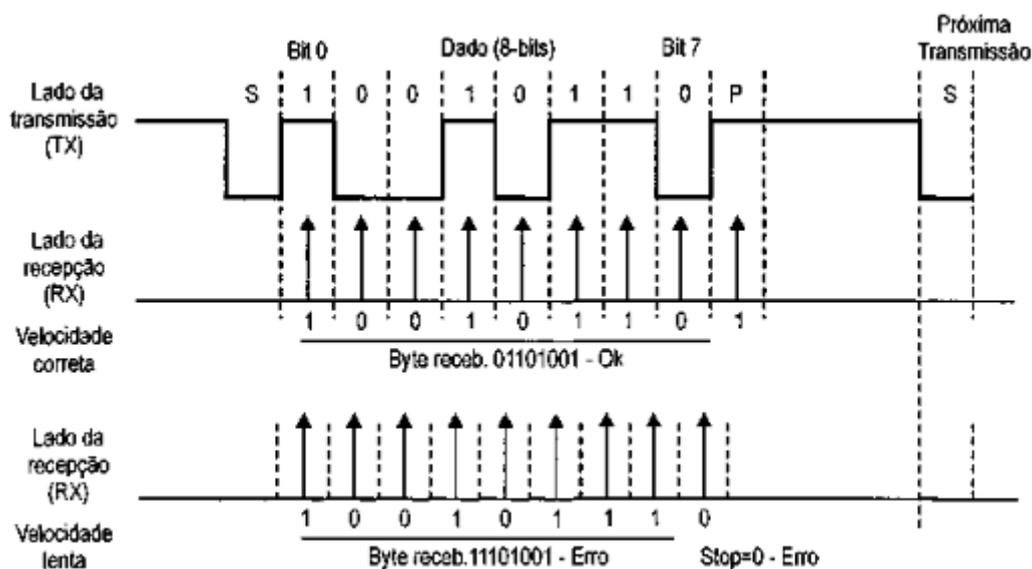


Figura 19: Dado sendo transmitido via protocolo RS232.

Fonte: [28]

Um dos objetivos específicos deste trabalho, foi disponibilizar dados, bem como, o envio da curva de pressão através de um software de supervisão (*LABVIEW*) que será apresentado a seguir.

Para realizar a comunicação serial com o microcontrolador foi necessário utilizar o componente MAX 232, o qual inclui um circuito capaz de gerar tensões de +10 volts e -10 volts a partir de uma fonte de alimentação simples de +5 volts, bastando para isso alguns capacitores. Sua configuração pode ser observada na Figura 20.

A utilização deste circuito integrado deve-se ao fato de os níveis de tensão de operação da porta serial do computador e do microcontrolador PIC serem diferentes. Assim, o MAX232 faz a compatibilização dos níveis de tensão.

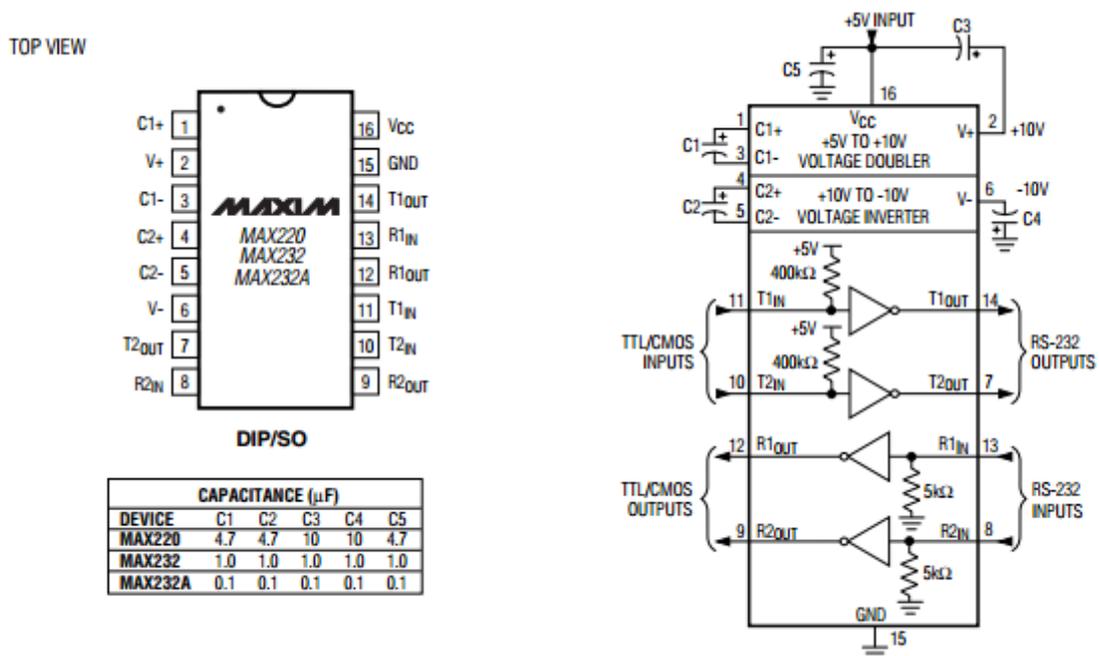


Figura 20: Configuração do MAX 232 para com entrada TTL e saída serial

Fonte: [29].

O esquema básico de entre microcontrolador e computador, de forma com que os mesmos possam se comunicar é ilustrado na Figura 21.

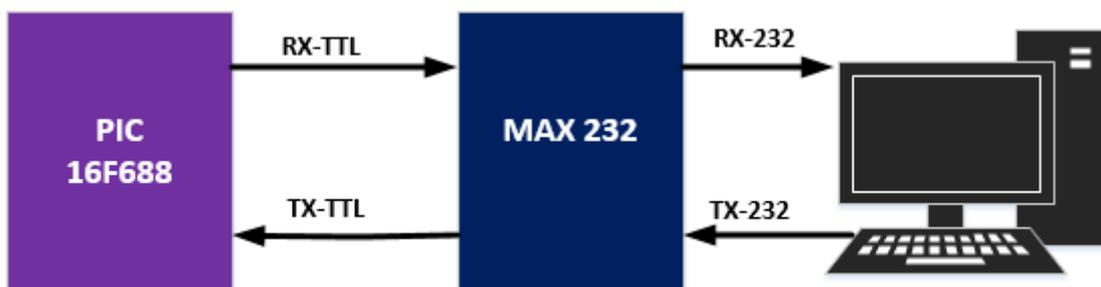


Figura 21: Esquema básico de ligação para comunicação

Fonte: *Autoria Própria*.

2.6.4 Desenvolvimento do código do testador de microfuros

O sistema do testador de microfuros passa por uma sequência de etapas de testes e acionamento de válvulas, sendo possível visualizar o fluxo do código na Figura 22.

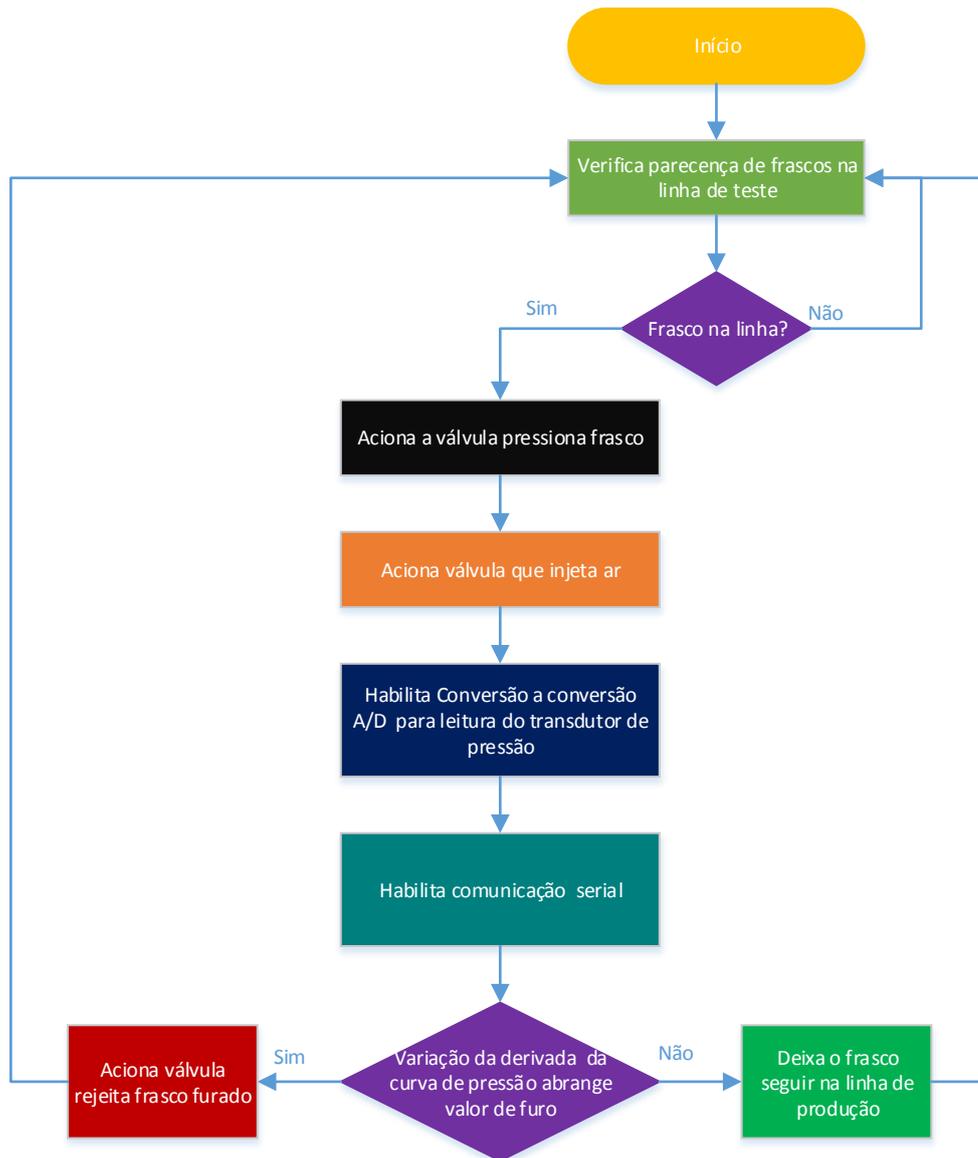


Figura 22: Fluxograma do testador de microfros

Fonte: *Autoria Própria.*

Quando inicia o testador, parte-se do ponto em que a etapa de teste só começa se o sensor fotoelétrico identificar a presença de frascos na linha de teste. Se um frasco estiver presente, então é acionada a válvula que vedará o frasco, para

inserção de pressão. Quando o frasco estiver pressurizado, terá início a conversão A/D, juntamente com a comunicação serial. Em seguida ocorrerá a tomada de decisão, onde será utilizada a derivada da curva de pressão. Caso o valor medido seja menor que o limiar de detecção, então o frasco não será descartado da linha de produção. Porém, se o valor medido da derivada for acima do limiar, será acionado a válvula rejeita frasco furado, retirando o frasco da linha de produção.

2.8 MONITORAMENTO TESTADOR

Por trás do projeto existe um hardware que recebe a informação de pressão, e imediatamente apresenta está em forma de curva, através de um sistema supervisorio. Atualmente existe no mercado uma grande quantidade de softwares supervisorios, cada qual com sua camada de aplicações específicas, em função do seu custo, e funções integradas. Dentro dessas variedades o LabVIEW (*laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*) foi o que apresentou melhores condições para o projeto.

O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica originária da National Instruments Inc. Os principais campos de aplicação do LabVIEW são a realização de medições e a automação. A programação é feita de acordo com o modelo de fluxo de dados, o que oferece a esta linguagem vantagens para a aquisição de dados e para a sua manipulação. Dentro desta plataforma os programas são chamados de instrumentos virtuais. São compostos de painel frontal, que contém a interface, e pelo diagrama de blocos, que contém o código gráfico do programa. Além de possuir inúmeros “Toolboxes” (kits de ferramentas) com implementações já prontas.

2.8.1 Trabalhando Com LabVIEW

Com o fim de utilizar o canal de comunicação EIA/TIA-232 o programa, deve primeiro impor seus recursos para configuração do canal. Se o canal solicitado é livre para ser usado em seguida, o programa pode escrever ou ler a partir do canal aberto.

Para abertura do canal necessita-se da função VISA abertura serial, que pode ser identificada na Figura 23.

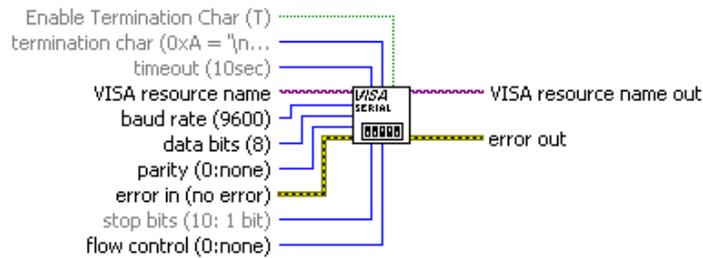


Figura 23: Função LabVIEW para abertura do canal porta serial.

Fonte: [30].

Para a aplicação deste trabalho foi necessário configurar apenas um parâmetros dessa função, “*VISA resource name*”, que configura qual porta receberá o canal. O restante dos parâmetros podem ser constantes, como foi utilizado a frequência de comunicação igual a padrão de 9600 bps, além de enviar 8 bits de dados.

Com a finalidade de apenas apresentar os dados do microcontrolador, é necessário utilizar a função *READ* que pode ser identificada na Figura 24

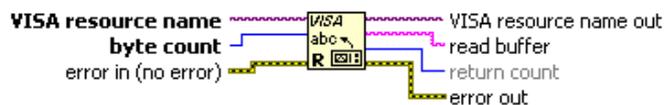


Figura 24: Função LabVIEW para leitura dos dados

Fonte: [30].

Esta função tem como objetivo ler uma sequência de caracteres a partir de uma porta serial. Esta recebe a identificação do número de porta serial usada e uma possível mensagem de erro. Para esta aplicação necessita de parâmetro adicional, dizendo o número de caracteres que serão lidos a partir da porta serial. Esta esperará este número de caracteres por um tempo predefinido na função de abertura de canal, “*timeout*”. A sequência de caracteres retornada consiste em caracteres individuais, tendo a forma de valor ASCII entre 0 a 255, este pode ser interpretados como *bytes*, inteiros ou algum código especial.

Uma vez que a leitura para a porta serial foi finalizada. É necessário que este canal seja fechado caso outro dispositivo haja outro dispositivo que está na fila para se comunicar. Portanto este canal deve ser fechado a função fechar canal da serial é mostrado na Figura 25.

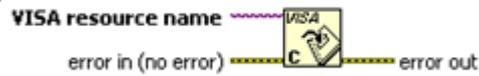


Figura 25: Função LabVIEW para fechar a comunicação serial

Fonte: [30].

2.8.2 Projeto do Testatador no LabVIEW

Para elaboração da curva de pressão utilizando o LabVIEW foi criado uma estrutura que recebe os dados do tipo string e converte para valor decimal. A estrutura está disponível na Figura 26.

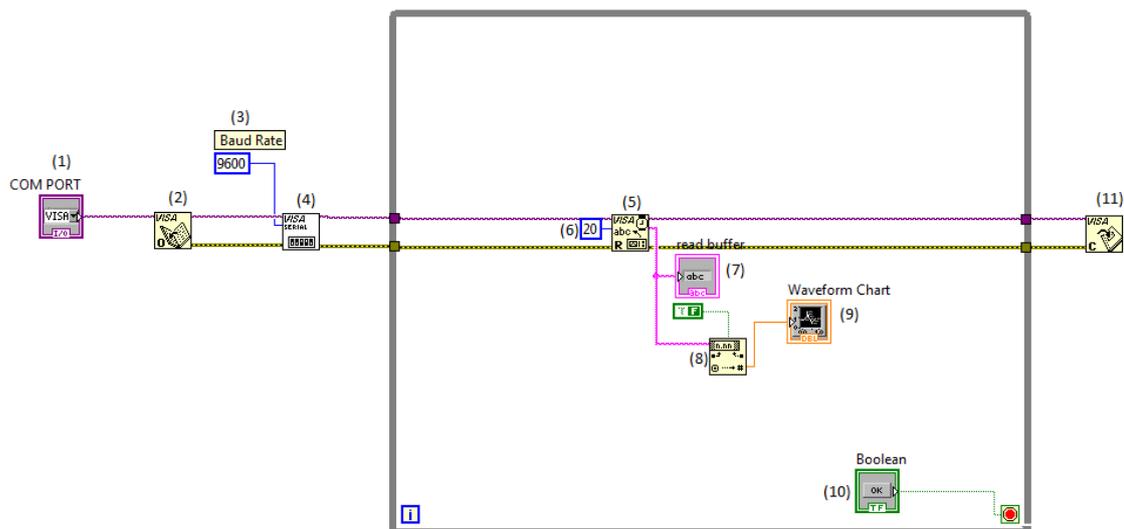


Figura 26: Programa para aquisição de dados do testador de microfuros

Fonte: [30].

Para criação da interface, foi necessário a utilização de dez componentes. Estes são identificados abaixo:

1. Seleciona a porta de comunicação;
2. Abre a comunicação serial;
3. Abertura de canal serial;
4. Velocidade de envio de dados;
5. Ocorre a leitura dos dados;
6. Quantidade de *strings* limite;
7. Armazena os dados na forma numérica;
8. Converte a *string* para um domínio numérico;
9. Apresenta os dados na forma de gráfico.
10. Botão para interface começar a funciona

4 IMPLEMENTAÇÃO PRÁTICA

Dado o objetivo de implementação do projeto, foi realizado o projeto da placa de circuito impresso (do inglês, *Printed Circuit Board* - PCB).

A partir do esquemático, e de uma prévia análise dos componentes a serem utilizados, em posse dos *datasheets* fornecidos pelos fabricantes, a placa pode começar a ser desenvolvida. Para o projeto das placas de PCBs, optou-se pela utilização de dois *layers* (chamadas *bottom* e *top*) e como qualquer projeto de PCB, dispendeu-se a atenção especial a potência do circuito em questão, além de utilizar as dimensões dos componentes, para melhor acomodação dos mesmos.

Para o desenvolvimento prático de cada PCB, existe alguns detalhes importantes que foram levados em consideração e valem ser destacados, à exemplo da presença de:

- Dispositivos de proteção devidamente dimensionados e alocados.
- Pontos de acesso para realizar testes em lugares estratégicos.
- Dupla camada com objetivo de compactar a placa

Antes do desenvolvimento da placa todos os circuitos foram submetidos a testes específicos que aprovaram seu funcionamento. A garantia do funcionamento, credenciou a implementação do projeto na de circuito impresso.

O layout da placa pode ser visualizado Figura 27. Através desta imagem, percebe-se que os reguladores IC1 e IC2 encontram-se alocados nas extremidades da placa com objetivo de alocarem dissipadores de calor, sem causarem maiores problemas. Foram alocados dez pontos de testes neste circuito:

- Entrada da regulação do LM317 para 24V;
- Saída do LM317 em 24V;
- Saída do segundo regulador de tensão LM317 para 5V;
- Negativo do circuito;
- Na base de cada um dos 4 transistores utilizados no acionamento das válvulas;
- No pino 2 e 6 do MAX 232 sendo estes utilizados para teste.

Estes pontos de teste foram essenciais na montagem da placa.

Nos terminais de entrada de sensores, alimentação, foi utilizado conectores borne para placa, o mesmo foi feito para a saída que aciona as válvulas.

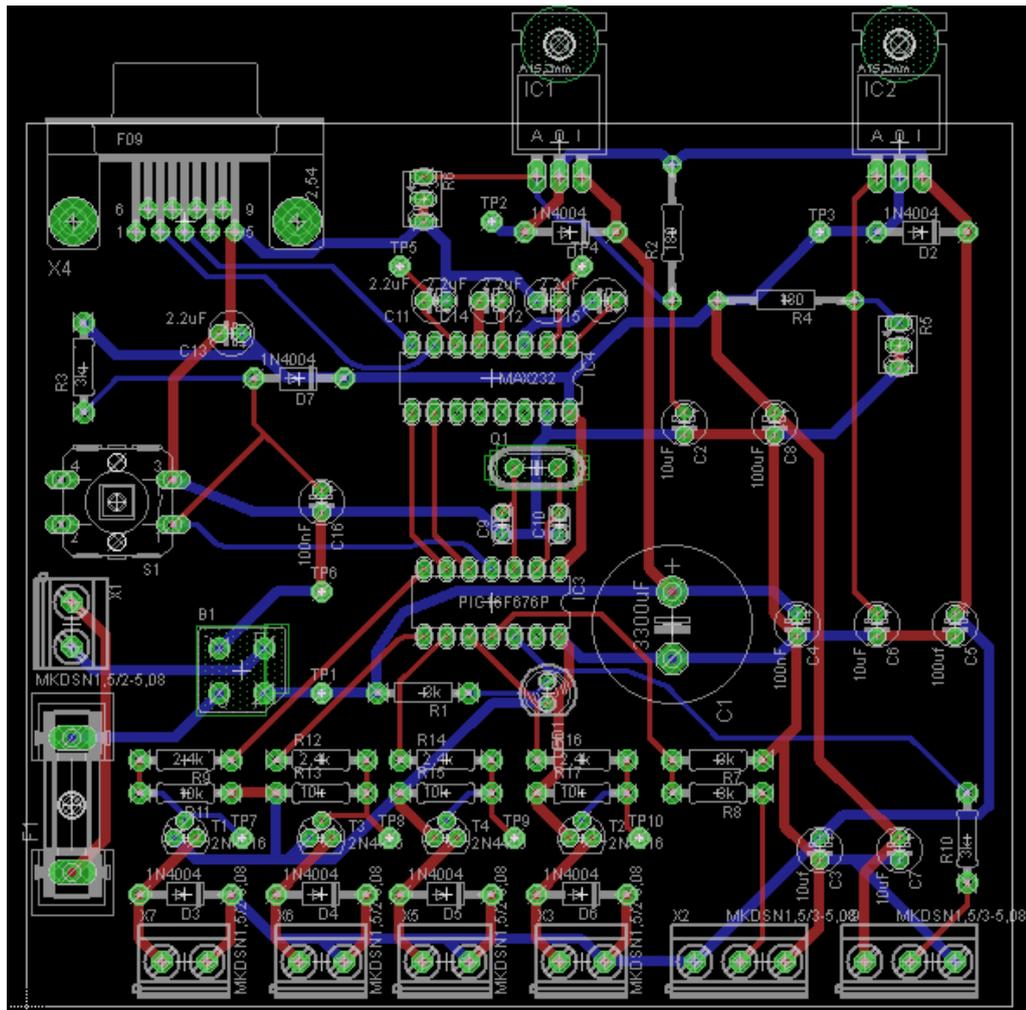


Figura 27: Layout da PCB do testador de microfuros.

Fonte: *Autoria Própria.*

Depois do *layout* da placa concluído, foi utilizado a fresadora *LPKF* da UTFPR para execução da placa, na Figura 28 é visualizar a placa *PCB* dupla camada após a aplicação da fresadora.

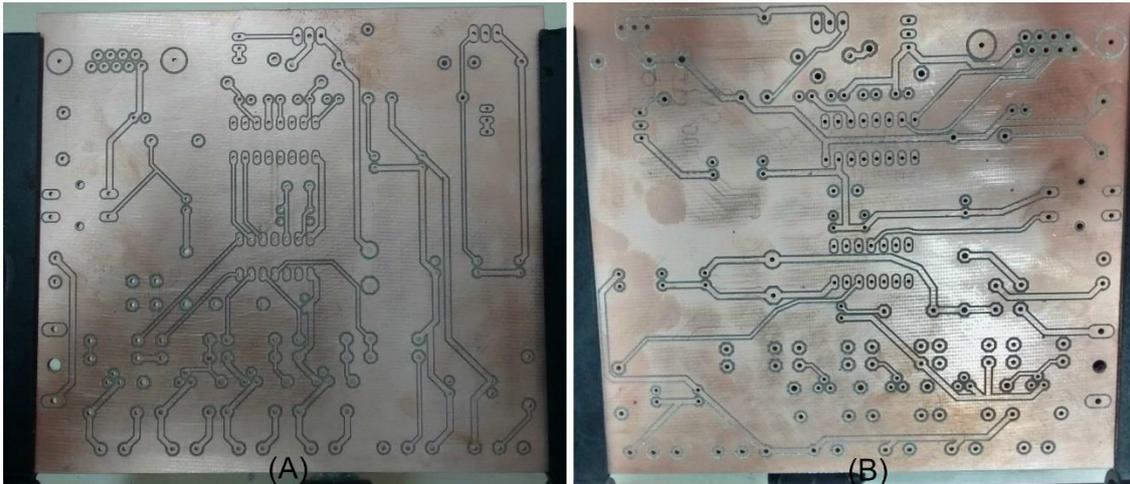


Figura 28: Placa PCB dupla face :(A) face superior; (B) face inferior.

Fonte: *Autoria Própria.*

Por fim, a placa testadora de microfuros finalizada é mostrada na Figura 29.

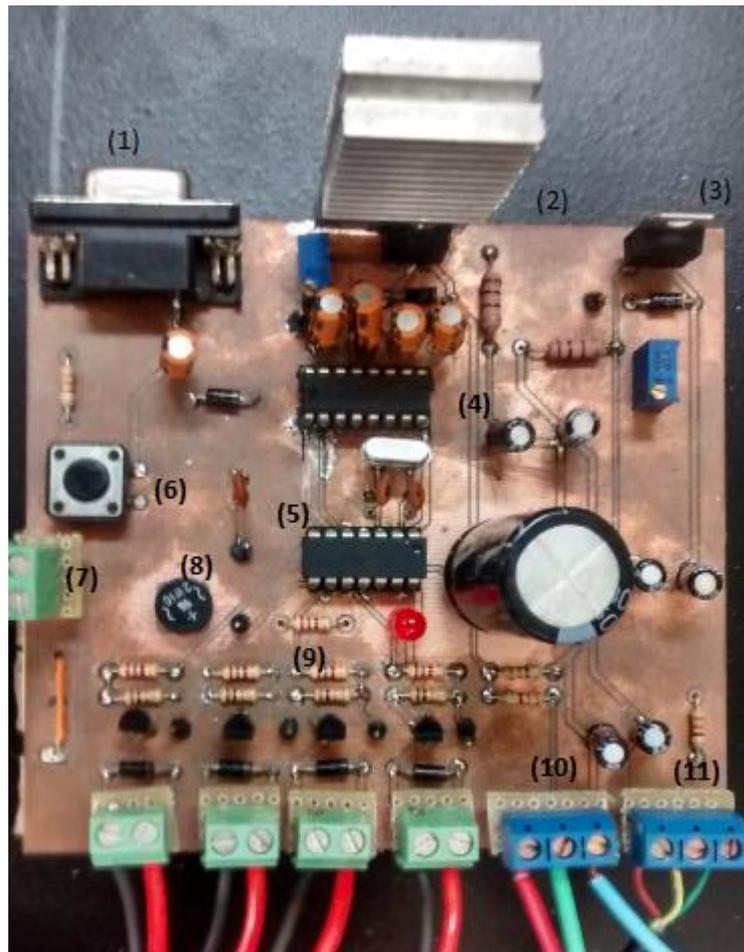


Figura 29: Placa Testador microfuros.

Fonte: *Autoria Própria.*

A Figura 29 apresenta as seguintes informações:

1. Conector serial DB9;
2. Regulador de tensão com dissipador, responsável por regular a tensão em 24v;
3. Regulador de tensão 5v;
4. Circuito integrado MAX 232;
5. Microcontrolador PIC 16f688;
6. Botão de Reset;
7. Alimentação da rede;
8. Ponte de diodos;
9. Circuito de acionamento;
10. Terminal para ligação do Transdutor de pressão;
11. Terminal para ligação do sensor fotoelétrico.

Todos os componentes listados acima já foram discutidos anteriormente. Lembrando que este é um protótipo do testador. A bancada para desenvolver os testes pode ser visualizada na Figura 30.

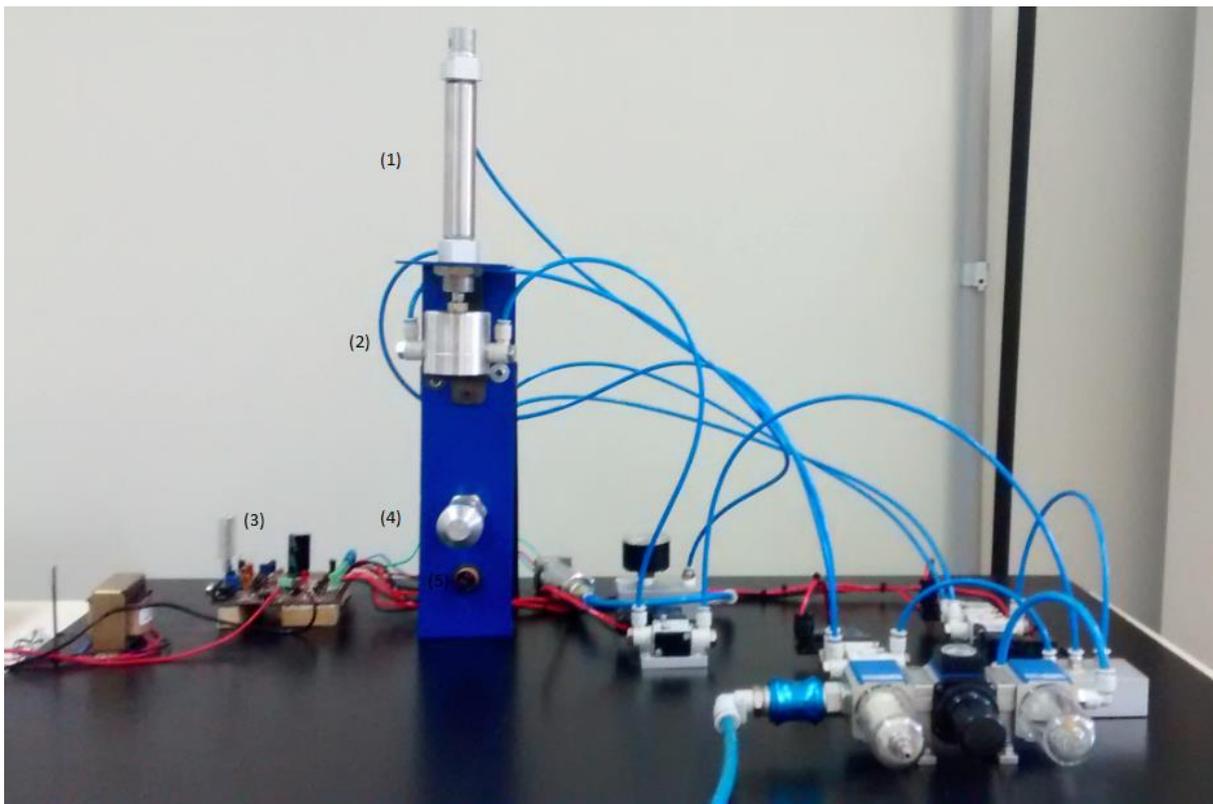


Figura 30: Vista frontal da bancada de testes.

Fonte: *Autoria Própria.*

A visão por esta vista frontal apresentado na Figura 30, possibilita a identificação de alguns componentes como:

1. Cilindro que pressiona o frasco para o teste;
2. Cabeçote com função de vedar o frasco para o teste;
3. Placa eletrônica que comanda os testes;
4. Cilindro que expulsa o frasco furado;
5. Sensor foto elétrico que identifica o frasco para iniciar o teste;

Para auxiliar a identificação dos demais componentes apresento a vista superior na Figura 32.

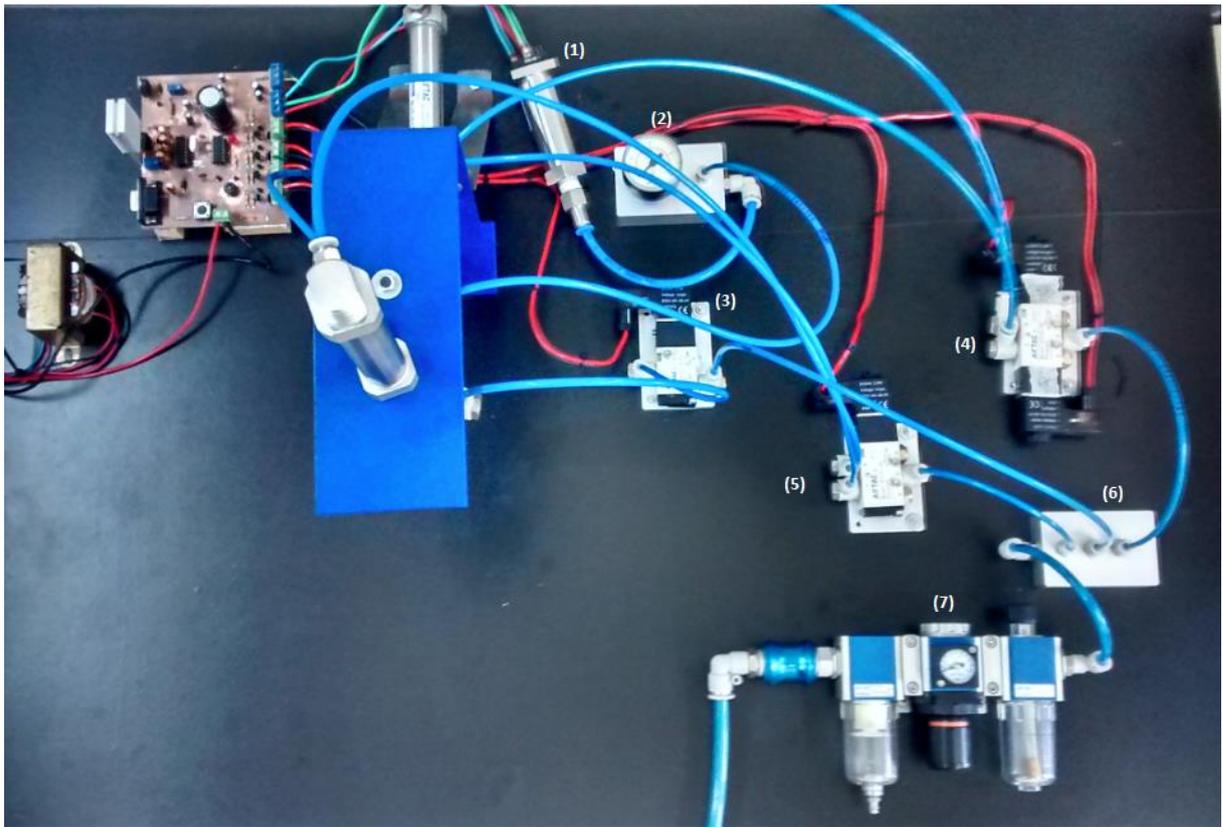


Figura 31: Vista superior da bancada de testes.

Fonte: Autoria Própria.

A vista superior da bancada apresentado na Figura 31, possibilita a identificação dos seguintes componentes:

1. Transdutor de pressão;
2. Manômetro para visualizar a pressão dentro do frasco;
3. Válvula 3/2 vias para inserção de ar;
4. Válvula 5/2 vias com duplo solenoide para ativação do cilindro que expulsa frasco furado;
5. Válvula 3/2 vias para acionar o cilindro que pressiona o frasco
6. Bloco de distribuição de ar;
7. Bloco de entrada de ar, este possui na entrada filtro para retirar partículas solidas, em seguida regulador de pressão com manômetro, e na saída filtro para retirar partículas viscosas.

A diagrama de ligações e diâmetros de mangueiras utilizados no projeto estão disponíveis na Figura 32.

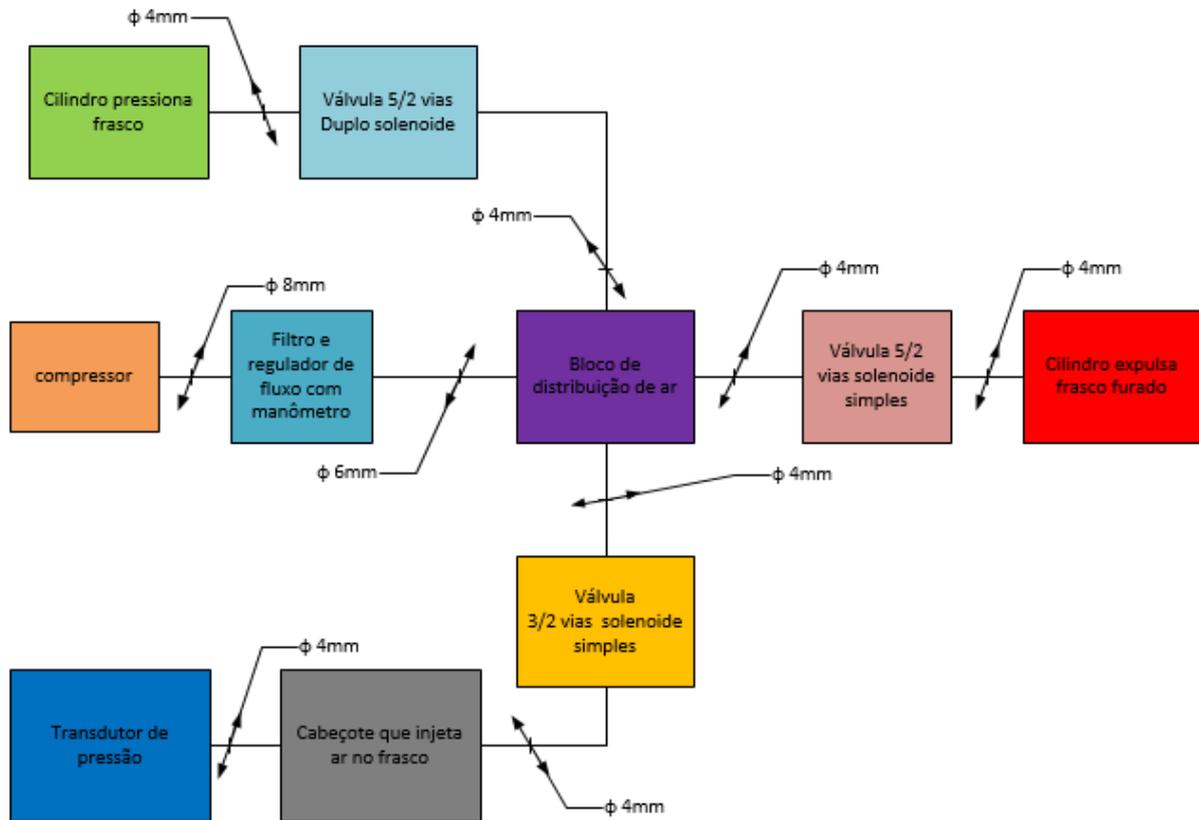


Figura 32: Diagrama pneumático de ligações

Fonte: *Autoria Própria.*

5 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para realização dos testes, foi necessário, a criação de microfuros artificiais, com o auxílio de agulhas médicas, que variavam de 0,25 mm a 1 mm. Na Figura 33 são mostrados os resultados experimentais referentes a cada furo.

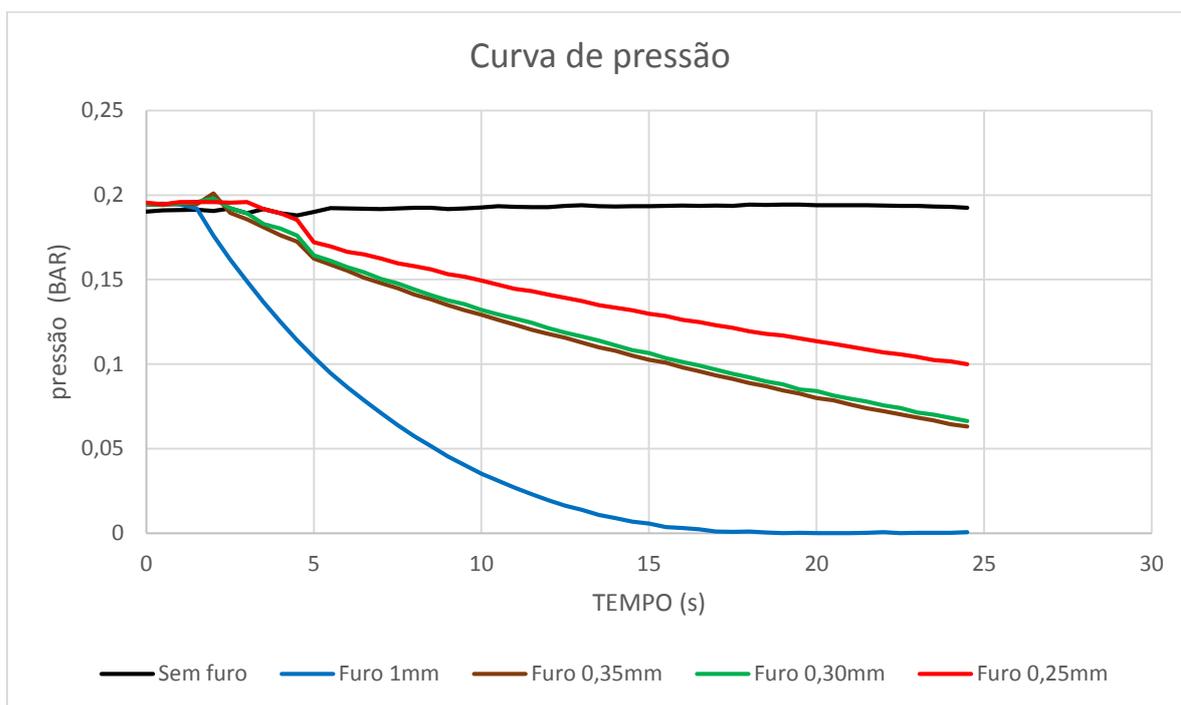


Figura 33: Curva de pressão gerada pelo testador de microfuros

Fonte: Autoria Própria.

Na análise dos dados observou-se uma pequena trepidação no sensor de pressão, quando submetidos a intervalos constantes de pressão. Acredita-se que esse comportamento seja devido ao transdutor possuir muitas horas de uso, sem passar por regulagens. Apesar disso, o transdutor apresentou resultados coerentes.

A curva de pressão medida pode ser caracterizada melhor por meio da obtenção da função de decaimento. Como a curva de pressão não possui comportamento linear $y=ax+b$ é necessário que efetuemos uma linearização do sistema. Observando as curvas da Figura 33 pode-se perceber que as mesmas possuem um comportamento de decaimento exponencial, na forma

$$y \cong \alpha_1 e^{-\alpha_2 x}. \quad (5.1)$$

Aplicando logaritmo natural, nesta aproximação temos:

$$\ln(y) \cong \ln(\alpha_1) - \ln(\alpha_2 x) \quad (5.2)$$

Com essa aproximação linear, convertemos uma função não linear em:

$$y = b_0 - b_1 X \quad (5.3)$$

Podemos utilizar o método dos mínimos quadrados pra definir a função das curvas de pressão fazendo:

$$b_0 = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum y)(\sum x^2)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}, \quad (5.4)$$

$$b_1 = \frac{n(\sum yx) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}, \quad (5.5)$$

onde n é o número de elementos utilizados para definir a curva.

Utilizando essa aproximação podemos chegar à função da curva de pressão de cada microfuro apresentado na Figura 33. Todas as funções serão apresentadas na Tabela 1, juntamente com suas respectivas derivadas.

Tabela 1: Função dos microfuros submetidos a teste

Tamanho do Furo	Função de descaimento	Derivada da função
1.00mm	$Y = 3,6046e^{-0,188x}$	$-0,677665e^{-0,188x}$
0.35mm	$Y = 2,0441e^{-0,03x}$	$-0,061323e^{-0,03x}$
0.30mm	$Y = 1,9657e^{-0,024x}$	$-0,0471768e^{-0,024x}$
0.25mm	$Y = 1,9377e^{-0,019x}$	$-0,0368163 e^{-0,019x}$

Portanto pode-se utilizar a derivada da função analisando o decaimento de pressão para detectar a presença dos furos e assim tornar a detecção mais rápida. Desta forma o código foi adaptado para diminuição de tempo de teste.

Porém, mesmo entendido o comportamento da curva é preciso analisar o tempo em que o tradutor oferece a menor trepidação nos valores da curva. Pensando nisso foi desenvolvido diversos testes para cada microfuro. Analisando Figura 33, podemos afirmar que a partir de 5 segundos ocorre uma queda na trepidação do sinal. Portanto analisaremos o comportamento até este ponto. Foram realizados 6 testes em 3 frascos sem furo com objetivo de analisar até qual momento ocorre a trepidação de sinal no transdutor. Foi utilizada uma média dos dados e apresentados na Figura 34.

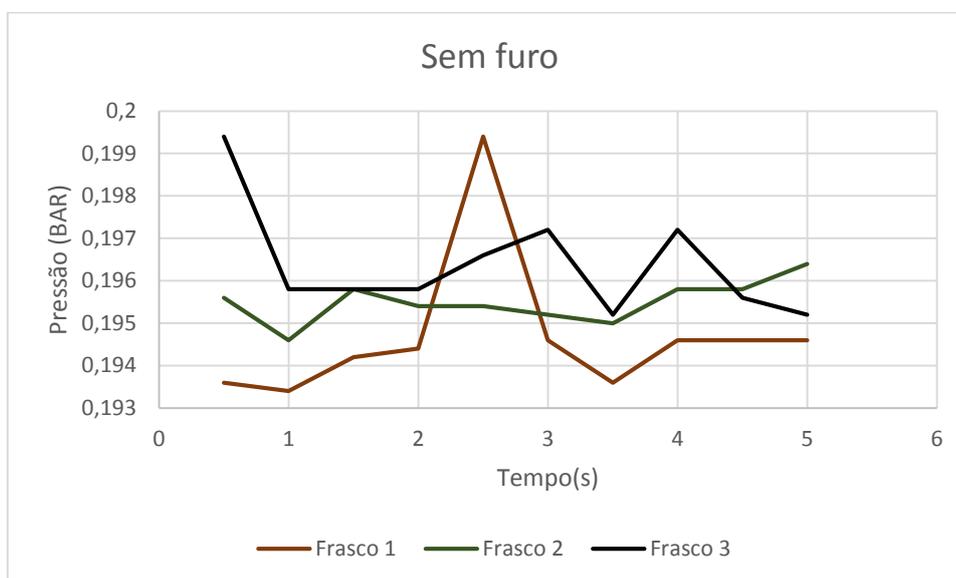


Figura 34: Curva pressão frasco sem furo

Fonte: Autoria Própria.

A importância deste teste é justificada, pela trepidação do sinal, com objetivo de encontrar um tempo limite onde está não afetará de forma abrupta o sinal de

pressão. Portanto mesmo com a curva de pressão dos frascos precisamos de um tempo limite para garantir que todos os testes sejam realizados com exatidão.

Para verificar a repetibilidade da curva de decaimento de pressão, foram testados 3 frascos que com um furo de 1 mm. O resultado pode ser visualizado na Figura 35.

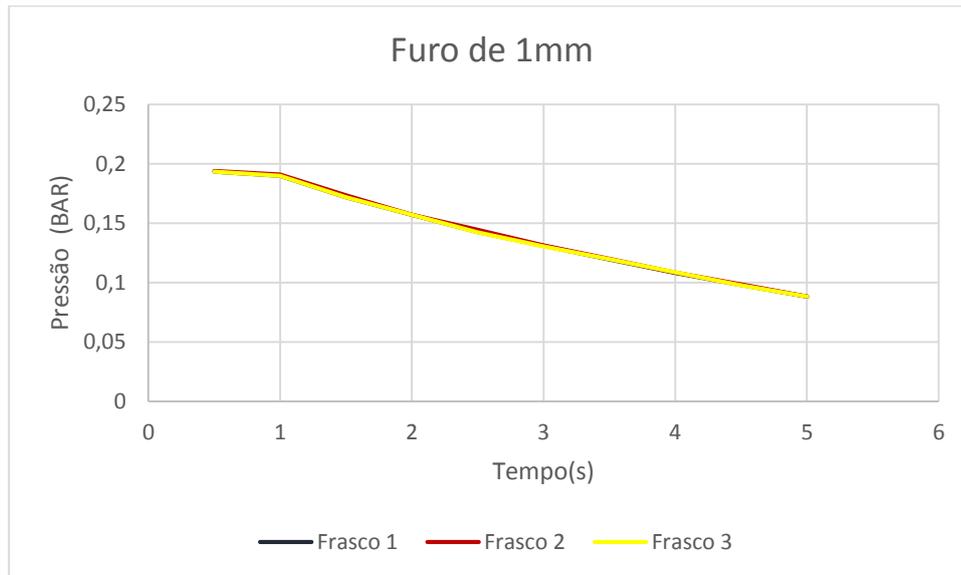


Figura 35: Curva de pressão para furo de 1mm

Fonte: *Autoria Própria.*

Os testes com furos de 1 mm apresentaram um decaimento rápido e homogêneo para os três frascos. Analisando sua derivada apresentada na Figura 36 o tempo de teste poderia ser fixado para 1,5 segundos. Porém existem furos menores que podem aumentar esse tempo de teste.

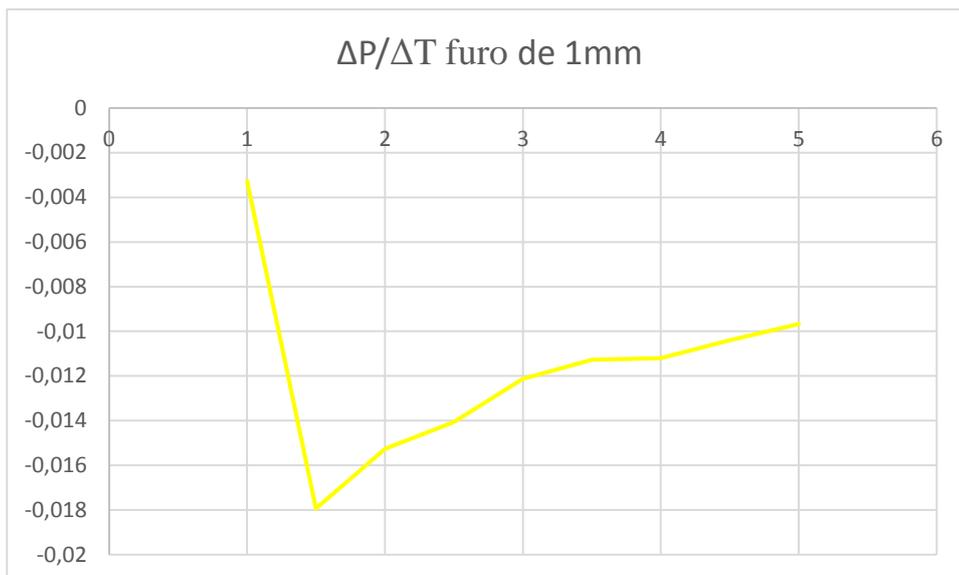


Figura 36: Derivada da curva de pressão, para furo de 1 mm

Fonte: Autoria Própria.

O mesmo teste foi adotado para os próximos furos. Na Figura 37 e 39 podemos visualizar os resultados para teste com furo de 0,35 mm.

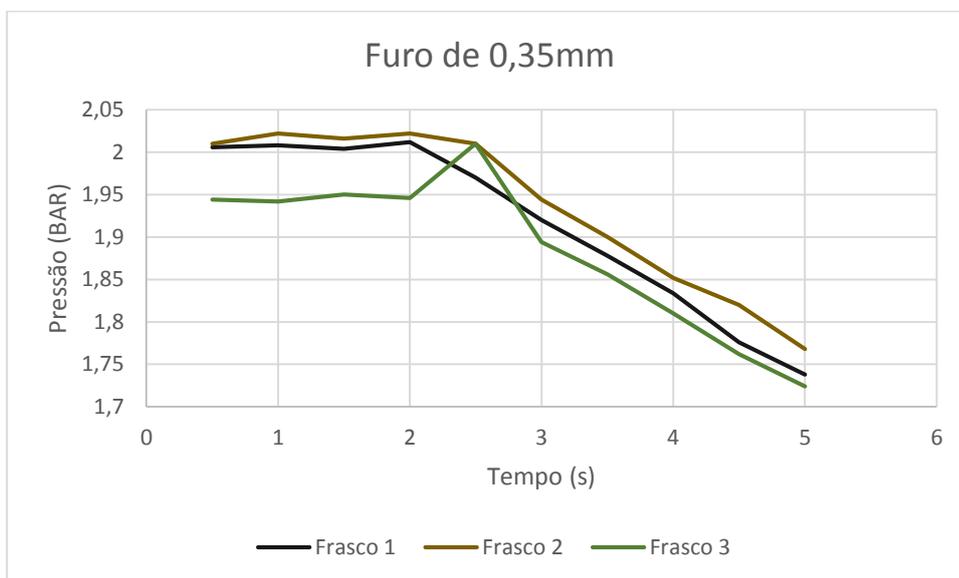


Figura 37: Curva pressão furo de 0,35mm

Fonte: Autoria Própria.

Para este tamanho de furo podemos analisar o tempo de teste observando a Figura 38. O tempo seria de 2,5 segundos.



Figura 38: Derivada da curva de pressão furo de 0,35 mm

Fonte: Autoria Própria.

Os testes também foram realizados para o furo de 0,30 mm e os resultados estão na Figura 39.

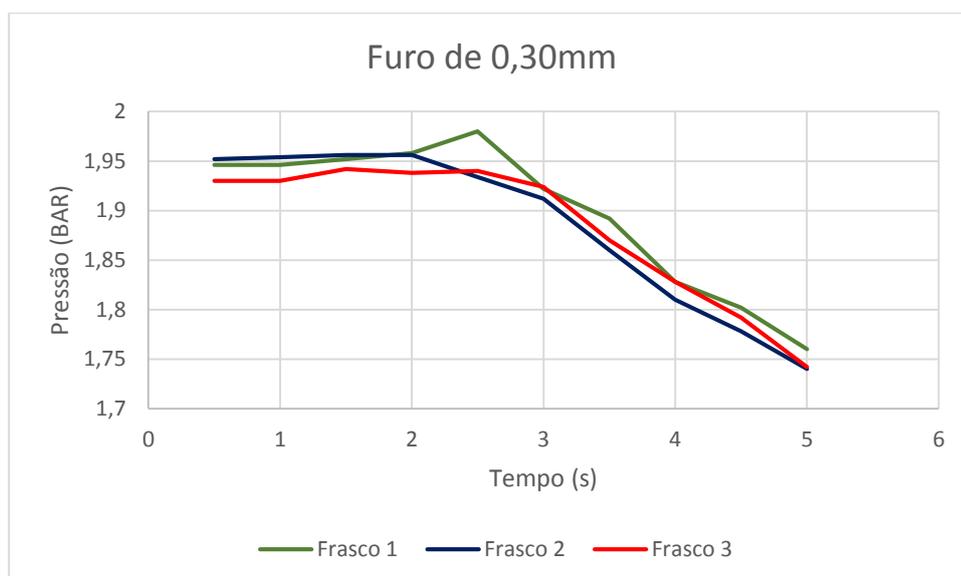


Figura 39: Curva de pressão para furo de 0,3mm

Fonte: Autoria Própria.

O furo de 0,30mm apresenta uma curva de pressão com decaimento menor, podemos definir o tempo de teste utilizando a Figura 40. O tempo de teste aumentaria para 2 segundos.

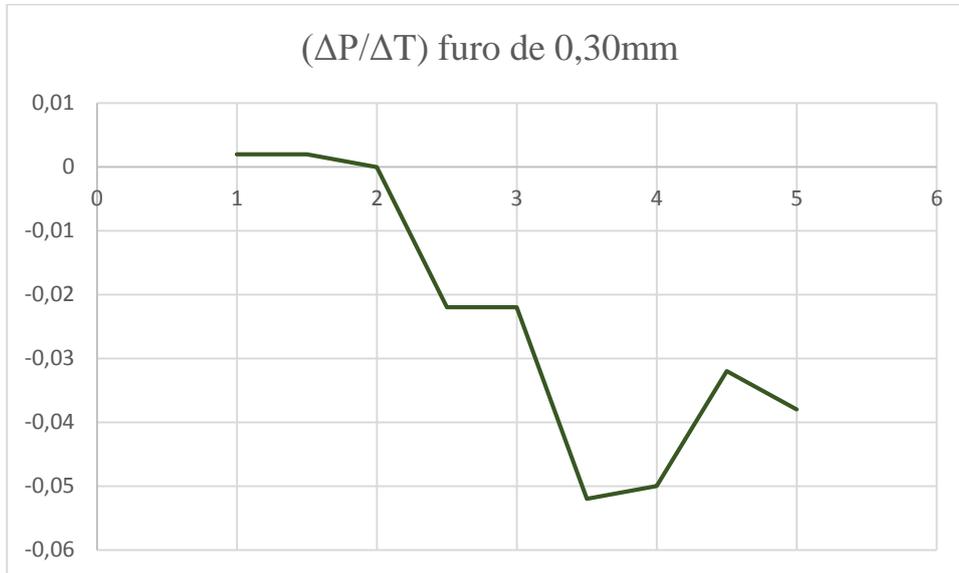


Figura 40: Derivada da curva de pressão para furo de 0,35mm

Fonte: *Autoria Própria.*

Os testes com furos muito pequenos, como de 0,25 mm apresentam uma pequena trepidação, pelo fato da pressão ser muito baixa e o fluxo de saída que o microfuro produz é ínfimo comparados a furos maiores, como o furo de 1 mm, por exemplo. O teste pode ser visualizado na Figura 41.

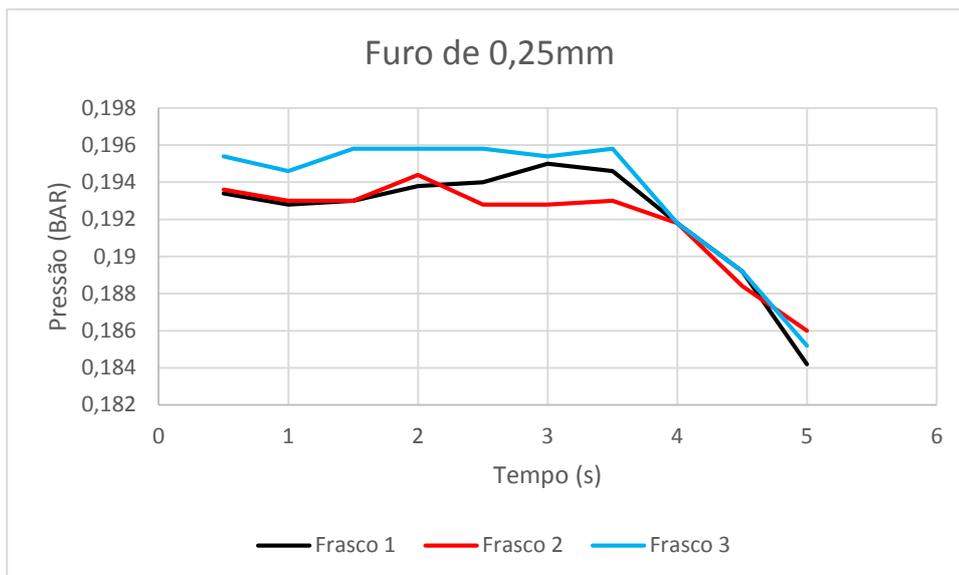


Figura 41: Curva pressão furo de 0,25mm

Fonte: *Autoria Própria.*

Como é possível visualizar na Figura 41, o minúsculo furo apresenta um fluxo mínimo de saída de ar, ocorrendo trepidação do sinal. Essa baixa pressão de pressurização aumenta o tempo de teste. Note que na Figura 42, a variação de decaimento de pressão para este furo é maior a partir de 4 segundos.

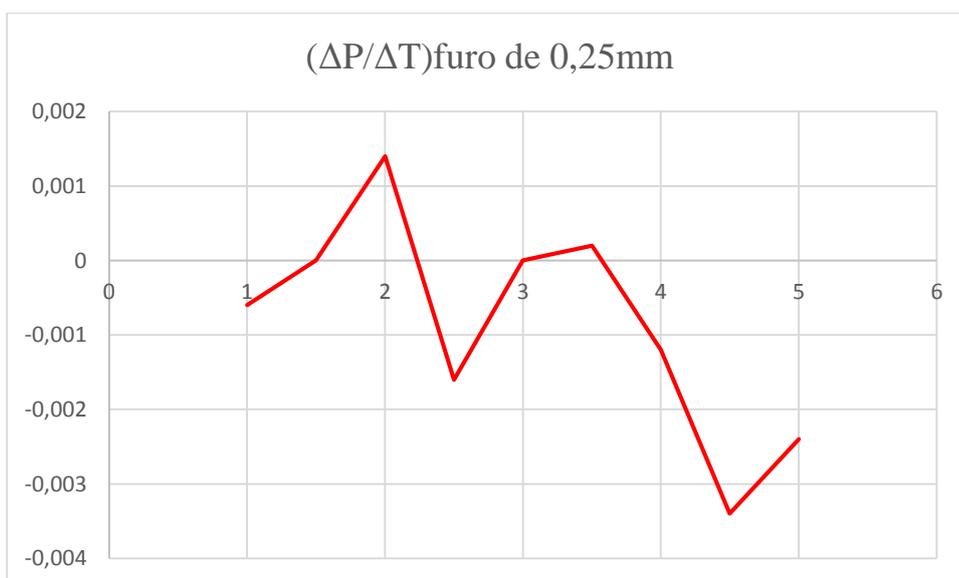


Figura 42: Derivada curva de pressão para furo de 0,25mm

Fonte: *Autoria Própria.*

Com estas informações e utilizando a derivada da função da curva de pressão, será analisado a variação do decaimento de pressão a partir do tempo de 3,5 segundos, utilizando os 3 dados posteriores. Dessa maneira pode ser empregado um algoritmo de votação para decidir se existe microfuro, ou seja, se a maioria dos dados forem maiores que um limiar de detecção um microfuro é detectado. Assim o tempo de teste seria de 5 segundos, onde seria necessário 3,5 segundos para eliminar a trepidação do sensor e mais 1,5 segundos para ler 3 amostras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O testador de microfuros se mostrou compatível e adequado para detectar furos de até 0,25mm de diâmetro. Onde os furos podem ser detectados pela inclinação do decaimento de pressão. Os resultados mostraram também que essa detecção pode ser realizada pela derivada da pressão e que a mesma precisa ser feita depois de 3,5 segundos de teste terminando em 5 segundos para obter 3 amostras. O que daria um tempo de 5 segundos para cada teste. Esta limitação é justificada por ser utilizado um transdutor de baixa pressão, de 0,2 bar. O transdutor utilizado não possibilita pressurizar o frasco com pressões que gerem um alto fluxo de saída de ar. Para correção deste problema, seria melhor utilizar um transdutor de 2 bar ou mais. Assim o fluxo de saída seria elevado, diminuindo com isso o tempo de teste.

Apesar dessas limitações, todos os objetivos foram alcançados, como construção de uma plataforma, que simularia um ambiente de testes. Além do desenvolvimento do supervisor para aquisição de dados, para obter a curva de pressão. Tudo isso interligado a uma placa eletrônica projetada e construída, para esta detecção de furos de até 0,25 mm de diâmetro.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] NETTO, Wolney Jr. **Modelagem por sopro**. 2005, Unicamp.

[2] ABIPLAST. **Associação Brasileira da Indústria do Plástico**: Informações do setor de plástico no Brasil. 2014:< <http://www.abiplast.org.br/busca>> Acesso em 3 setembro de 2014.

[3] METALTEX. **Empresa que que fábrica CLP**: Informações do FP-X0 controlador lógico programável compacto: <<http://www.metaltex.com.br/produto/fp-x0/fp-x0-controlador-logico-programavel-clp-compacto> >Acesso em 20 setembro de 2014.

[4] FRADEN, Jacob. **Handbook of Modern Sensors**. 4. Ed. New York: LLC, 2010.

[5] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** v.2. p.347 Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[6] CASSIOLATO, Cesar. **Medição de pressão**. C&I pg.8 2008.

[7] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** v.2. p.346 Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[8] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** v.2. p.350 Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[9] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** v.2. p.341 Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[10] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** v.2. p.353 Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[11] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** v.2. p.307 Rio de Janeiro: LTC, 2007.

[12] S. F. d. Luz, **Projeto e Desenvolvimento de Transmissores de Pressão Piezoresistivos com Saída em Tensão nos Padrões Industriais**. MEMS Ltda, São Paulo 2008.

[13] Petersen, K. E., **Silicon as a Mechanical Material, Proceedings of the IEEE**, V70, N°5, Maio 1982;

[14] Kloeck B.; Rooij N.F, **Sensors a Comprehensive Survey**, Cap 5 Piezoresistive Sensors p.146-171 v7 John Wiley & Sons, Inc.1996;

[15] Datasheet MENS-pressure, **Microsistemas integrado de pressão**. 641-642 Serie.

[16] NATIONAL SEMICONDUCTOR. **LM317 Datasheet**, 2004. Disponível em:<<http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/8619/NSC/LM317.html>>. Acesso em: 02 de Fevereiro de 2015.

[17] SADIKU, MATTHEW.N.O. **Fundamento de circuitos elétricos**. 3Ed.p 260 São Paulo: BOOKMAN,2008.

[18] SADIKU, MATTHEW.N.O. **Fundamento de circuitos elétricos**. 3Ed.p 280 São Paulo: BOOKMAN,2008.

[19] SEDRA, Adel S. **Microeletrônica**. 5Ed. p. 261 São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

[20] SEDRA, Adel S. **Microeletrônica**. 5Ed. p. 262 São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

[21] BOYLESTAD, Robert L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos** 8Ed p. 156 São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

[22] THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U.B. **Sensores Industriais: fundamento e aplicações**. 4.Ed Érica, 2004.

[23] FESTO Training. **Automação Pneumática**. Apostila. Setembro de 2007.

[24] PARKER Training. **Tecnologia Eletropneumática Industrial**. Apostila M1002-2 BR. Agosto 2001.

[26] CARVALLO, Pablo J; VARGAS, René. **Válvulas de Solenoide**. 2003, Departamento de engenharia Eletrônica, Universidade Técnica Federico Santa Maria, Valparaiso, Chile

[27] Datasheet microchip, **Microcontrolador PIC 16f688**. 2007p.114-117. Disponível em <:<http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?product=PIC16F688>> Acesso em: 10 de Janeiro de 2015.

[28] César, Nicolás; José, Davi. **Conectando o PIC**. 3 Ed. Editora Érica, 2002.

[29] MAX232. **MAXIM Datasheet**, 2002. Disponível em: <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/maxim/MAX220-MAX249.pdf>>. Acesso em: 23 de março de 2015.

[30] LabView. **NATIONAL INSTRUMENTS**, versão de avaliação.