

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ELETRÔNICOS

OHMÍMETRO DIGITAL CONTROLADOR

FILIPPE PINHEIRO BRITO
GUSTAVO FERNANDES THIRION
RONALDO GONÇALVES DA SILVA JUNIOR

SÃO PAULO – SP
2021



FILIPE PINHEIRO BRITO
GUSTAVO FERNANDES THIRION
RONALDO GONÇALVES DA SILVA JUNIOR

OHMÍMETRO DIGITAL CONTROLADOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial da Faculdade de Tecnologia de São Paulo.

SÃO PAULO – SP
2021

Pinheiro Brito, Filipe; Fernandes Thirion, Gustavo e Gonçalves da Silva Junior, Ronaldo

OHMÍMETRO DIGITAL CONTROLADOR / Filipe Pinheiro Brito, Gustavo Fernandes Thirion e Ronaldo Gonçalves da Silva Junior – 2021.

63 f.

Monografia – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2021.

Orientador: Prof. Ms. Mauricio Antonio Deffert

1. ohmímetro 2. resistência elétrica 3. *set point*

TERMO DE APROVAÇÃO

FILIFE PINHEIRO BRITO
GUSTAVO FERNANDES THIRION
RONALDO GONÇALVES DA SILVA JUNIOR

OHMÍMETRO DIGITAL CONTROLADOR

Aprovado em: 01/07/2021

Prof. Me. Mauricio Antonio Deffert
Professor orientador

Prof. Me. Ricardo Cardoso Rangel
Professor convidado

Prof. Dr. Victor Sonnenberg
Chefe do Departamento de Sistemas Eletrônicos

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a todos os professores, mestres e doutores da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC-SP) que lecionaram nas disciplinas do curso de Tecnologia em Eletrônica Industrial, pela paciência e comprometimento com os integrantes do grupo. Em especial ao nosso tutor, Prof. Ms. Maurício Antonio Deffert, pelas orientações, bem como aos nossos familiares e amigos pelo apoio direto e indireto.

RESUMO

Em vista da constante modernização dos processos fabris, em especial as áreas de tecnologia com envolvimento direto de produtos eletroeletrônicos, junta da necessidade de redução de custos, tempo e mão-de-obra do que se diz respeito a qualidade de funcionamento dos mesmos, o grupo enxergou a relevância do tema e a importância de diminuição de defeitos, incluindo a taxa de possíveis descartes, diretamente relacionados a ideia de sustentabilidade. Deste modo, foi desenvolvido um dispositivo com a função de controle sobre a medição de resistência elétrica, para atuação na fase de testes de qualidade em uma linha de produção ou manutenção. O grupo buscou a implementação de diversas funcionalidades ao equipamento, como a definição manual de valores máximos e mínimos, a visualização digital das grandezas mensuradas e a emissão de alertas sobre os objetos postos a teste, indicando se eles encontram-se dentro ou fora da faixa adequada, pré-estabelecida, por meios luminosos ou pelo acionamento de chaves e válvulas através dos relés. Tudo isso pensado com intuito de ampliar as formas de implementação da ferramenta quando necessária. O Ohmímetro Digital Controlador atingiu os resultados esperados quando comparado a equipamentos do mesmo seguimento, apresentando mínima porcentagem de variação nos valores obtidos e no tempo de resposta, bem como na avaliação de todas as suas funcionalidades, levando em conta sua produção manual. A utilidade do projeto se deu pela forma de configuração conforme a necessidade de cada usuário.

Palavras chaves: ohmímetro, *set point*, controle, medição e resistência elétrica.

ABSTRACT

In view of the constant modernization of manufacturing processes, especially the areas of technology with direct involvement of electronic products, together with the need to reduce costs, time and manpower with regard to the quality of their operation, the group saw the relevance of the theme and the importance of reducing defects, including the rate of possible discards, directly related to the idea of sustainability. In this way, a device was developed with the function of control over the measurement of electrical resistance, to act in the phase of quality tests in a production or maintenance line. The group sought the implementation of several functionalities to the equipment, such as the manual definition of maximum and minimum values, the digital visualization of the measured quantities and the issuing of alerts on the objects put to test, indicating if they are inside or outside the range pre-established, by luminous means or by activating keys and valves through relays. All of this thought with the intention of expanding the ways of implementing the tool when necessary. The Digital Ohmmeter Controller achieved the expected results when compared to equipment of the same segment, presenting a minimum percentage of variation in the values obtained and in the response time, as well as in the evaluation of all its functionalities, taking into account its manual production. The usefulness of the project was given by the form of configuration according to the needs of each user.

Key words: ohmmeter, set point, control, measurement and electrical resistance.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Princípio de Funcionamento do Galvanômetro	19
FIGURA 2 – Amperímetro Digital Indicador.....	20
FIGURA 3 – Multímetro Analógico	22
FIGURA 4 – Multímetro Digital	22
FIGURA 5 – Circuito em Série	23
FIGURA 6 – Microcontrolador PIC 16F877A.....	27
FIGURA 7 – Pinagem do Microcontrolador PIC 16F877A.....	29
FIGURA 8 – <i>Display</i> LCD 16x2	30
FIGURA 9 – Pinagem do <i>Display</i> LCD 16x2	31
FIGURA 10 – Fluxograma do Projeto.....	33
FIGURA 11 – Diagrama de Blocos do Projeto	34
FIGURA 12 – Circuito Fonte de Alimentação do Projeto.....	35
FIGURA 13 – Circuito Fonte de Corrente do Projeto com Saída de 1 mA.....	37
FIGURA 14 – Circuito de Controle do Projeto com PIC 16F877A.....	39
FIGURA 15 – Circuito Fonte de 0 a 10 <i>Volts do Projeto</i> (Saída PWM)	40
FIGURA 16 – Relação de Pinos do <i>Display</i> LCD 16x2 no Projeto	41
FIGURA 17 – Simulação do <i>Display</i> ao Medir Resistência Nula.....	42
FIGURA 18 – Simulação do <i>Display</i> ao Medir Resistência Acima de 2 k Ω	42
FIGURA 19 – Circuito dos Relés e LEDs no Projeto.....	43
FIGURA 20 – Circuito de Ajuste dos <i>Set Points</i> do Projeto	44
FIGURA 21 – Início do Processo de Soldagem dos Componentes – Placa 1/2.....	44
FIGURA 22 – Início do Processo de Soldagem dos Componentes – Placa 2/2.....	45
FIGURA 23 – Apresentação do Protótipo com Simulação em Painel	46
FIGURA 24 – Potenciômetro de 10 k Ω Utilizado.....	47
FIGURA 25 – Resposta do Protótipo ao Medir Resistência < SP1	48
FIGURA 26 – Resposta do Protótipo ao Medir Resistência > SP2	48
FIGURA 27 – Simulação de Resposta do Protótipo caso SP1 > SP2.....	49
FIGURA 28 – Gabarito de Resistores de 22,6 a 181,9 Ω	50

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Relação de Resistência e Corrente Elétrica.....	25
GRÁFICO 2 – Comparação de Resultados entre o Multímetro DM-890 e o Ohmímetro Projetado neste Trabalho – 750 Ω	52
GRÁFICO 3 – Comparação de Resultados entre o Multímetro DM-890 e o Ohmímetro Projetado neste Trabalho – 1 k Ω	53
GRÁFICO 4 – Comparação de Resultados entre o Multímetro DM-890 e o Ohmímetro Projetado neste Trabalho – 1,4 k Ω	53

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Proporcionalidade entre a Resistência e o Deslocamento do Ponteiro	26
TABELA 2 – Relação entre os Índices de Tensão e os Circuitos do Projeto	36
TABELA 3 – Relação da Resistência (Rx) com as Tensões VRx, VRP e de Saída Diferencial	36
TABELA 4 – Relação de Pinos do PIC 16F877A para Controle do Projeto	38
TABELA 5 – Relação entre Resistências Obtidas e Tensões Medidas e Calculadas	40
TABELA 6 – Comparação de Resistência Medida entre o Multímetro DM-890 e o Ohmímetro Projetado neste Trabalho	51
TABELA 7 – Medições Constantes de Resistência para Comparação do Multímetro DM-890 e o Ohmímetro Projetado neste Trabalho.....	52
TABELA 8 – Custos do Projeto	54

LISTA DE SIGLAS

- PWM** – “*Pulse-Width Modulation*” – Modulação por Largura de Pulso
- LCD** – “*Liquid Crystal Display*” – Display de Cristal Líquido
- LED** – “*Light Emitting Diode*” – Diodo Emissor de Luz
- K** – Quilo
- SP1** – “*Set Point 1*” – Ponto de Ajuste 1
- SP2** – “*Set Point 2*” – Ponto de Ajuste 2
- RX** – Resistência Elétrica Variável
- VRX** – Tensão sobre a Resistência Elétrica Variável
- VRP** – Tensão sobre a Resistência Elétrica Fixa
- DDP** – Diferença de Potencial
- V** – “*Volt*” – Tensão Elétrica
- R** – Resistência Elétrica
- SI** – Sistema Internacional de Unidades
- I** – Corrente Elétrica
- A** – Ampère
- D** – Distância
- TTL** – “*Time To Live*” – Tempo de Vida
- CMOS** – “*Complementary metal-oxide-semiconductor*” – Semicondutor de Óxido Metálico Complementar
- PIC** – “*Programmable Intelligent Computer*” – Computador Programável Inteligente
- CPU** – “*Central Process Unit*” – Unidade Central de Processamento
- PROM** – “*Programmable read-only Memory*” – Memória Única de Programação
- RAM** – “*Random Access Memory*” – Memória de Acesso Aleatório
- RISC** – “*Reduced Instruction Set Computer*” - Computador com um Conjunto Reduzido de Instruções
- EEPROM** – “*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*” – Memória Programável Apagável Eletronicamente Somente de Leitura
- A/D** – Conversor Analógico-Digital
- OLED** – “*Organic light-emitting Diode*” – Diodo Emissor de Luz Orgânico
- VCC** – Tensão em Corrente Contínua
- VREF** – Tensão de Referência
- AOP** – Amplificador Operacional

CI – Circuito Integrado

VPP – Tensão de Pico a Pico

GND – “*Ground*” – Terra

OSC – Osciladores Transistorizados

PCI – Placa de Circuito Impresso

CPL – “*Programmable Logic Controller*” – Controlador Lógico Programável

NA/NF – Normalmente Aberto e Normalmente Fechado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
2.3. Relevância do Trabalho	16
2.4. Organização do Trabalho	17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1. Primeira Lei de Ohm	18
3.1.1. Desenvolvimento da Fórmula	18
3.2. Instrumentos de Medição de Grandezas Físicas Elétricas	19
3.2.1. Amperímetro	20
3.2.2. Voltímetro	21
3.2.3. Multímetro	21
3.2.4. Ohmímetro	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. Principais Componentes Utilizados	27
4.1.1. Microcontrolador PIC 16F877A	27
4.1.2. <i>Display</i> LCD 16x2	29
4.2. Características do Circuito Eletrônico do Projeto	31
4.2.1. Fluxograma do Projeto	32
4.2.2. Diagrama de Blocos do Projeto	33
4.2.3. Circuito Eletrônico do Projeto	34
4.2.3.1. Fonte de Alimentação	34
4.2.3.2. Fonte de Corrente	36
4.2.3.3. Circuito de Controle com PIC 16F877A	37
4.2.3.4. Circuito PWM	39
4.2.3.5. Circuito <i>Display</i> LCD 16x2	40
4.2.3.6. Circuito dos Relés e LEDs	42
4.2.3.7. Circuito de Ajuste dos <i>Set Points</i>	43
4.2.4. Montagem Física do Protótipo	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1. Testes de Medições	47
5.2. Comparação Técnica	49
5.3. Resultados para Validação em Grande Escala	51
5.4. Custos do Projeto	54
6. CONCLUSÕES	55
6.1. Projetos Futuros	55
6.2. Referências Bibliográficas	56
6.3. Apêndice	57
6.3.1. <i>Software</i> de Controle do Dispositivo	57

1. INTRODUÇÃO

A princípio, vemos a importância do custo benefício na indústria sendo relacionada a oferta de suporte adequado quanto a realização de testes de qualidade em equipamentos eletroeletrônicos no geral.

Segundo Juran [1] “A gestão de qualidade na indústria eletroeletrônica tem evoluído muito ao longo dos anos. À medida que a tecnologia tomou conta dos processos e a precisão tornou-se um padrão em todas as etapas de produção, um novo estágio de qualificação foi alcançado”.

Com isso em mente, o assunto a ser abordado despertará interesse devido as diversas áreas que se encontram reféns de uma boa gestão, munidos de equipamentos adequados, no que se diz respeito a realização de testes de qualidade. Quando ocorre uma má execução nesta atividade, acaba por acarretar em problemas aos produtos finais ou para aqueles que passam por fase de manutenção. “O equipamento que não concluiu corretamente todo o desenvolvimento na fabricação – o que inclui todo o processo de testes de eficiência – não desenvolve a função a qual foi imposto, onde é necessária a troca completa do equipamento, sendo muitas vezes a única solução cabível” [2].

Uma das principais ferramentas em uso na indústria com a funcionalidade de mensurar grandezas físicas é ohmímetro, sendo ele analógico ou digital. Diferente dos demais equipamentos do mesmo segmento, como, por exemplo, voltímetros e amperímetros, o ohmímetro não depende necessariamente que o objeto posto a teste esteja energizado, tornando-o aplicável em diversas situações.

Alguns dos principais tópicos relacionados a necessidade de realização adequada de testes de qualidade em equipamentos eletroeletrônicos, antes da disponibilização ao cliente final, segundo a indústria Eletrônica *Falcon*, localizada em Jaraguá do Sul, Santa Catarina, Brasil, especializada em gestão de montagem de placas eletrônicas, são:

1. Queda na qualidade dos produtos: Equipamentos que não funcionam não garantem a mesma eficiência, o que acaba resultando em atrasos e problemas maiores [2];
2. Riscos e falta de segurança: Manter um equipamento sem testes de qualidade significa que ele não possui as condições de segurança

necessárias para seu manuseio, resultando em maiores riscos de acidentes para a empresa e seus colaboradores [2]; e

3. Aumento de custos: Problemas em placas eletroeletrônicas podem causar um atraso maior e um aumento da demanda para a empresa que precisará analisar os erros e efetuar as trocas necessárias [2].

Resumindo, além da garantia de um melhor funcionamento e durabilidade no quesito comercial, como chuveiros, motores e resistores em geral (os quais utilizam da resistência como principal grandeza), testar equipamentos tem impacto direto na redução de defeitos e, com as ferramentas adequadas possuindo funcionalidades específicas, há uma diminuição considerável no tempo, mão de obra e custo.

Levando em conta toda a questão de aumento de qualidade e redução de produtos defeituosos, o projeto idealizado pelo grupo neste trabalho tentar unir ambos os benefícios com a ajuda da automatização eletrônica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Projetar e construir um ohmímetro de painel que possui como função adicional, além da medição de resistência habitual, a definição de parâmetros (*set point*) mínimos e máximos da grandeza mensurada, de forma a controlar e monitorar a qualidade dos circuitos eletroeletrônicos testados.

2.2. Objetivos Específicos

- Facilitar o trabalho de medição de resistência elétrica em equipamentos eletroeletrônicos;
- Auxiliar na detecção de produtos que estejam fora da faixa de qualidade estipulada;
- Demonstrar a importância da redução de defeitos atrelada à diminuição de custos, tempo e mão-de-obra; e
- Corroborar com a eminente necessidade de automatização dos meios de fabricação, controle e medição.

2.3. Relevância do Trabalho

Desejamos com a realização deste projeto pôr em prática boa parte do conhecimento adquirido nestes anos junto a Instituição e, também destacar e incentivar a possibilidade de criação de um equipamento auxiliar, de baixo custo e de grande utilidade no meio eletroeletrônico.

2.4. Organização do Trabalho

O trabalho foi iniciado, a partir do Capítulo 1, apresentando uma introdução teórica sobre o assunto de forma geral, ressaltando a necessidade do procedimento de testes de qualidade na redução de defeitos e custos. No Capítulo 2, especificamos os objetivos diretos e indiretos relacionados a este trabalho. Destacamos um resumo das Leis, fórmulas e equipamentos bases, no Capítulo 3, para realização deste projeto, no intuito de descrever o modo de operação e criar um entendimento sobre a construção dele. A relação de componentes utilizados, bem como os esquemas elétricos de todo o trabalho poderão ser observados no Capítulo 4, o qual também aborda a linha do tempo de montagem do equipamento. Os resultados, problemas e discussão sobre este protótipo estão descritos no Capítulo 5, de forma a comprovar a utilidade dele. A conclusão que obtivemos após a finalização do trabalho poderá ser apreciada no Capítulo 6, onde também discutiremos sobre os projetos futuros, que tratam especificamente sobre as possíveis melhorias utilizando o projeto como base. Também neste capítulo poderão ser observadas as referências citadas no trabalho escrito, bem como o apêndice, com a descrição da programação elaborada para funcionamento do projeto.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Primeira Lei de Ohm

Georg Simon Ohm, físico e matemático alemão, é o responsável pela descoberta das ligações matematicamente simples envolvidas entre as dimensões dos condutores e suas grandezas elétricas. Foi o primeiro a discutir sobre a teoria matemática existente na condução elétrica dos circuitos, por meio da fabricação de fios metálicos de diversos tamanhos utilizados em seus experimentos [3].

A descoberta da Lei se deu a partir de um estudo prático simples, onde houve ligação de uma fonte de tensão elétrica a um material qualquer, observando a circulação ou não de corrente elétrica neste material enquanto alterava-se a tensão aplicada. Foi então que notou que a corrente de fato se modificava conforme a diferença de potencial, no entanto, sempre havia uma razão constante. Ao realizar a divisão dos valores de tensão pelos de corrente, o resultado era o mesmo. Esta razão recebeu o termo de resistência elétrica [3].

3.1.1. Desenvolvimento da Fórmula

Para um melhor entendimento sobre esta primeira Lei, é importante esclarecer o que seriam estas resistências elétrica mencionadas. Por definição, temos que: “Resistência elétrica é uma grandeza física que mede a oposição oferecida pelas partículas que os constituem à passagem da corrente elétrica, transformando energia elétrica exclusivamente em calor” [3].

Resistência elétrica (R) é “a capacidade que um corpo tem de opor-se à passagem da corrente elétrica. A unidade de medida da resistência no SI é o Ohm (Ω)” [4].

Desta forma, temos que a resistência elétrica (R) é o quociente ddp V (v) aplicado pela corrente (i) que o atravessa, conforme Equação 1:

$$R = \frac{v}{i} \quad (1)$$

Além do Ohm (Ω) como unidade de medida da resistência elétrica, temos as letras (V) e (A) para as unidades de tensão e corrente elétrica, respectivamente.

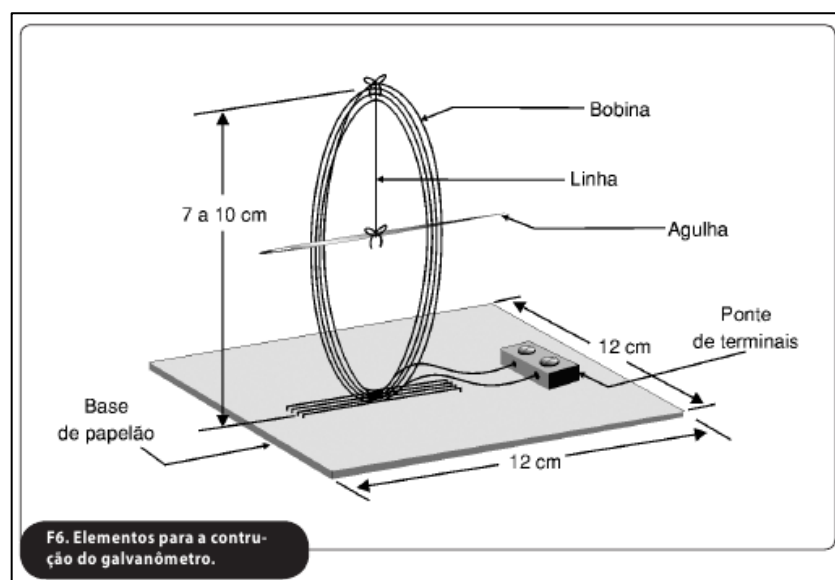
Sendo assim, quanto maior for a resistência elétrica (R) de um resistor, menor será a corrente (i) que o atravessa. Embora os fios metálicos que também fazem parte de um circuito elétrico possuam resistência elétrica, essa grandeza não é levada em consideração por ser classificada como muito inferior e desprezível comparada com a dos demais resistores [4].

3.2. Instrumentos de Medição de Grandezas Físicas Elétricas

Para auxiliar na montagem e testes de diversos circuitos eletrônicos, os instrumentos de medição elétrica têm papel muito importante para tanto.

Um dos mais antigos equipamentos desta categoria, ainda utilizado como base em vários outros dispositivos, é o Galvanômetro d'Ansonval que possui a funcionalidade de mensurar tensão, corrente e até mesmo resistência elétrica, dependendo da forma que suas conexões internas são ajustadas. Seu princípio de funcionamento é baseado no deslocamento angular de uma agulha acoplada a uma bobina, devido à passagem de corrente elétrica, como pode ser observado na Figura 1.

FIGURA 1 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO GALVANÔMETRO



Fonte: <https://www.colegioweb.com.br/wp-content/uploads/2014/07/galvan%C3%B4metro.png>,
acessada em 20/10/2020.

3.2.1. Amperímetro

Os amperímetros são dispositivos de medida de corrente elétrica que, conforme mencionado anteriormente, possuem um galvanômetro como sensor. A medição de correntes maiores que a de fundo de escala necessitam de um divisor de correntes feito de uma resistência (R) em paralelo (conhecido como resistência de *Schunt*). O termo divisor de corrente vem justamente dos dois caminhos percorridos simultaneamente pela resistência (R) e o galvanômetro [5].

A corrente que passa de fato pelo galvanômetro é uma fração fixa da que atravessa o amperímetro, de forma que podemos associar a corrente do circuito diretamente com a indicação do próprio galvanômetro, conhecendo assim o fator de escala. O amperímetro precisa ser posicionado em série com relação ao circuito o qual se deseja medir e, por este motivo, a resistência interna dele deve ser muito baixa (ainda menor que a resistência total do ramo em que está inserido) para não afetar o funcionamento deste circuito [5]. O equipamento comercial se assemelha ao da Figura 2.

FIGURA 2 – AMPERÍMETRO DIGITAL INDICADOR



Fonte: <https://eletrorastro.fbtsstatic.net/img/p/amperimetro-digital-indicador-universal-inv-98102-85-250vca-inova-82067/269170.jpg?w=800&h=800&v=no-change>, acessada em 05/07/2021.

3.2.2. Voltímetro

O voltímetro, assim como o amperímetro, também possui um galvanômetro de sensor e um divisor como forma de medição. No caso dele, o divisor de tensão, que como o próprio termo sugere: se baseia na divisão da diferença de potencial entre os terminais do resistor (posicionado em série no circuito medido) e o galvanômetro. Desta forma, torna-se possível medir tensões maiores que a fundo de escala. Em sua utilização usual, o voltímetro precisa ser conectado em paralelo ao circuito em processo de medição [5].

A resistência interna do dispositivo não é infinita, podendo contribuir com a drenagem de uma parte da corrente, o que acaba afetando as características do circuito e, no intuito de diminuir este efeito, a resistência interna do voltímetro é muito alta (idealmente maior comparada ao circuito a ser medido paralelamente), de forma que a quantidade de corrente drenada seja desprezível.

Essa mesma resistência interna alta é diretamente proporcional à tensão de fundo de escala. Outra observação importante na utilização do voltímetro está relacionada a escala adequada para cada situação, uma vez que a medição em uma escala alta (em um circuito que não necessite de tanto) acaba gerando uma menor deflexão no ponteiro e conseqüentemente uma captação menos precisa [5].

3.2.3. Multímetro

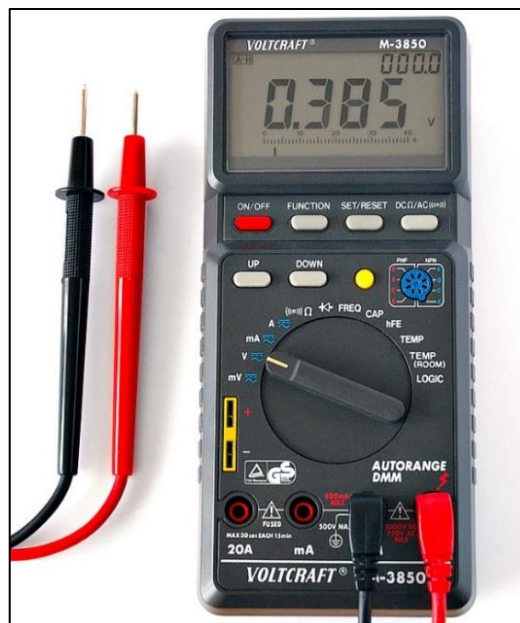
Existem instrumentos que permitem a medida de diferentes grandezas elétricas, denominados de multímetros. Estes dispositivos são capazes de monitorar tensões, correntes elétricas, temperaturas, capacitâncias, frequências, etc. necessitando apenas do ajuste por uma chave seletora para definir a grandeza [5].

O multímetro pode ser analógico ou digital. No caso dos analógicos, conforme Figura 3, a construção continua contando com o galvanômetro d'Arsonval que em conjunto com a chave seletora permitem a ligação de resistores em série ou em paralelo para atender a cada situação.

FIGURA 3 – MULTÍMETRO ANALÓGICO

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/08/Mult_anal%C3%B3gico13.jpg/800px-Mult_anal%C3%B3gico13.jpg, acessada em 20/10/2020.

Já os digitais, ilustrados na Figura 4, possuem os mostradores em *display* e, conseqüentemente, o galvanômetro foi substituído por instrumentos eletrônicos.

FIGURA 4 – MULTÍMETRO DIGITAL

Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a6/Digital_Multimeter_Aka.jpg, acessada em 20/10/2020.

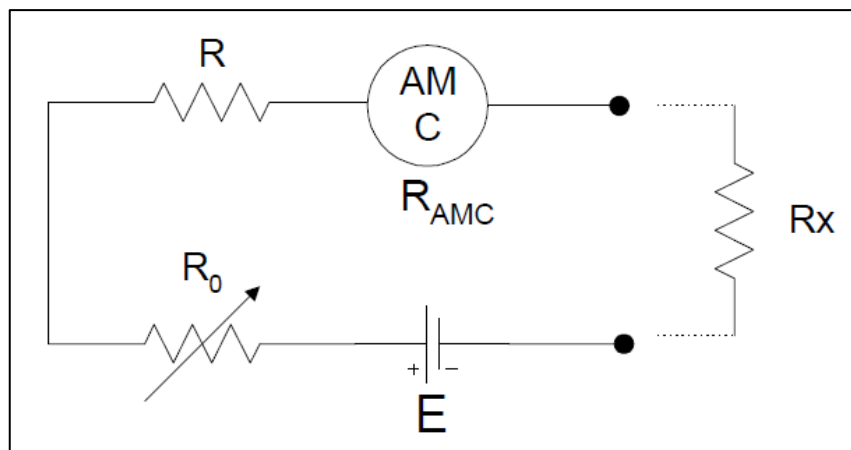
A corrente elétrica é convertida em sinais digitais, por meio de circuitos conhecidos como conversores analógico-digitais e microprocessadores que realizam os cálculos matemáticos necessários para cada grandeza [5].

Todos os multímetros digitais possuem um mostrador digital, de LCD (*liquid crystal display*) ou LED (*light emitting diode*), capaz de indicar as informações medidas e alguns mais modernos a interface de entrada/saída que permitem o controle e monitoramento com auxílio de um microcomputador [5].

3.2.4. Ohmímetro

A princípio, a medida da resistência elétrica de um certo circuito pode ser obtida pela razão entre a tensão em seus terminais e a corrente que o atravessa. Desta forma, o ohmímetro pode ser entendido como um equipamento que combina a função do voltímetro com a do amperímetro, juntos de uma fonte de tensão que estabelece a corrente [5]. Para demonstração de seu funcionamento, será interessante observar o circuito de um ohmímetro série básico na Figura 5:

FIGURA 5 – CIRCUITO EM SÉRIE



Fonte: Autores

A resistência variável (R_0) serve como o “ajuste de zero”, conhecido também como *offset* do ohmímetro. Esta operação implica curto-circuitar os terminais do equipamento ($R_x = 0$), ajustando, desta forma, esta resistência variável para coincidir o ponteiro com marcação de 0 na escala. Considerando a Equação 2 que relacionada

a malha em série, o valor da fonte de tensão se iguala a soma de todas as resistências envolvidas multiplicadas pela única corrente que percorre o circuito:

$$E = I.(R_{AMC} + R + R_0 + R_x) \quad (2)$$

Considerando o R_{Ω} como a resistência fixa total lida pelo ohmímetro, temos a Expressão 3 simplificada:

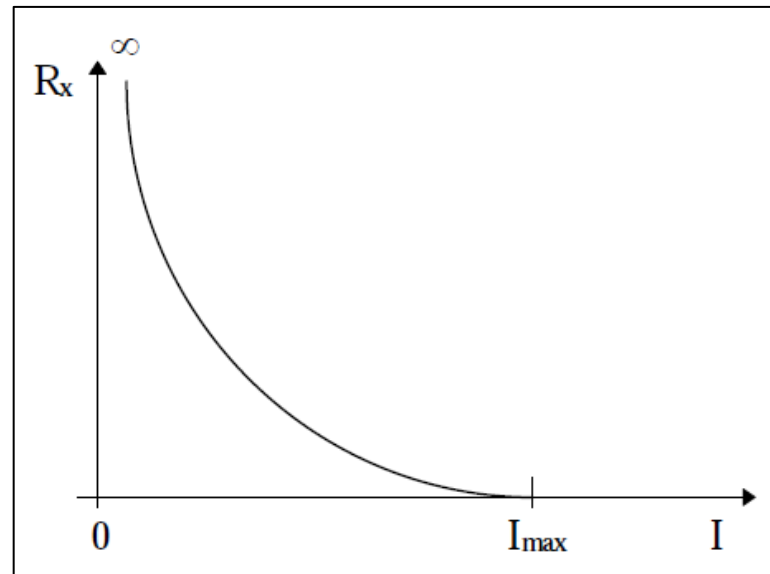
$$E = I.(R_{ohm} + R_x) \quad (3)$$

Caso $R_x = 0$ (o ohmímetro tendo seus terminais curto-circuitados), a corrente será o valor máximo admissível e quando multiplicada por toda a resistência também se iguala a tensão total do circuito, conforme Equações 4 e 5 equivalentes:

$$E = I_{\max} \cdot R_{ohm} \quad (4)$$

$$\frac{E}{I_{\max}} = R_{ohm} \quad (5)$$

Com as equações descritas acima é possível notar que não se trata de uma relação linear, conforme Gráfico 1:

GRÁFICO 1 – RELAÇÃO DE RESISTÊNCIA E CORRENTE ELÉTRICA

Fonte: Autores

Para uma corrente nula, o ohmímetro estará em circuito aberto (com a resistência infinita). Caso sejam curto-circuitados os terminais, a corrente também terá seu valor máximo, onde a resistência será nula nos terminais (R_x).

A graduação da escala de medida pode ser observada quando se encontra a relação da corrente que passa por certa resistência, tendo a corrente máxima admissível obtida com o desmembramento da equação inicial de razão entre as duas grandezas, apresentado na Equação 6:

$$I_{\max} = \frac{E}{R_{ohm}} \wedge I = \frac{E}{R_{ohm} + R_x} \Rightarrow \frac{I}{I_{\max}} = \frac{\frac{E}{R_{ohm} + R_x}}{\frac{E}{R_{ohm}}} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow \frac{I}{I_{\max}} = \frac{R_{ohm}}{R_{ohm} + R_x} \quad (6)$$

A razão entre a corrente normal e a máxima, disposta acima, comprova a proporcionalidade no deslocamento (d) do ponteiro de acordo com a Tabela 1:

TABELA 1 – PROPORCIONALIDADE ENTRE A RESISTÊNCIA E O DESCOLAMENTO DO PONTEIRO

R_x	0	RΩ/3	RΩ	3xRΩ	7xRΩ	∞
d	1	3/4	1/2	1/4	1/8	0

Fonte: Autores

Os fatores multiplicadores no caso dos ohmímetros analógicos (por exemplo: x1, x10, x100, x1000), ou até as escaladas dos ohmímetros digitais (por exemplo: 100 Ω, 1 kΩ, 10 kΩ) são obtidos através da variação da resistência elétrica interna deles, como demonstrado no circuito série.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Principais Componentes Utilizados

Dentre todos os componentes eletrônicos utilizados na construção deste projeto, os quais serão mencionados nos próximos tópicos, dois em específico possuem umas das funções mais importantes: o controle e cálculo das resistências medidas e a disposição visual dos valores.

4.1.1. Microcontrolador PIC 16F877A

O Microcontrolador PIC 16F877A é um chip encapsulado com 40 pinos que possibilitam a montagem de um *hardware* capaz de interagir com diversos recursos ao mesmo tempo. A Figura 6 ilustra o componente utilizado no projeto.

FIGURA 6 – MICROCONTROLADOR PIC 16F877A



Fonte: <https://s3.amazonaws.com/img.iluria.com/product/41898B/EA8970/450xN.jpg>, acessada em

02/11/2020.

“Os microcontroladores são diferenciados pelas quantidades de memória interna (programa e dados), velocidade de processamento, quantidades de pinos de entrada/saída (I/O), alimentação, periféricos, arquitetura e *set* de instruções” [6].

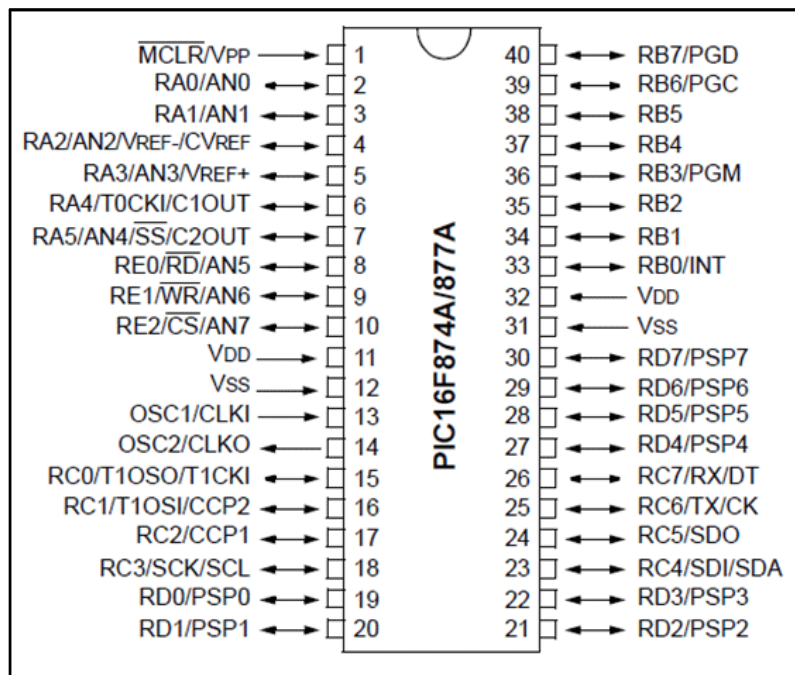
O PIC, pela estrutura externa, pode ser visto como um circuito integrado TTL ou CMOS normal, embora internamente ele disponha de diversos dispositivos típicos de um sistema microprocessado, ou seja, possui: CPU (*Central Processor Unit*) que tem como finalidade a interpretação das instruções de certo programa, memória PROM (*Programmable Read Only Memory*) na qual memoriza as instruções também de certo programa, memória RAM (*Random Access Memory*) utilizada para memorização das variáveis e uma série de Linhas de I/O (entrada e saída) no intuito de controlar dispositivos externos ou receber pulsos de sensores, chaves, etc. A escolha do microcontrolador tem relação com a presença de todos estes dispositivos em um espaço relativamente pequeno, o que gera uma ampla gama de trabalho comparado a circuitos individuais tradicionais [6].

O PIC 16F877A possui ainda a arquitetura RISC, logo, são máquinas com conjunto pequeno de instruções. Ele possui também exatamente 35 instruções, que ocupam uma palavra de 14 *bits* [7]. Algumas de suas características básicas são:

- 8k x 14 bits de memória *flash*;
- 368 x 8 bits de memória RAM;
- 256 x 8 bits de memória EEPROM;
- Pilha implementada por *hardware* de 8 níveis;
- Endereçamento nos modos direto, indireto e relativo;
- 5 portas de entrada/saída;
- Conversão de A/D de *bits* com entradas multiplexadas;
- 14 fontes de interrupção (internas e externas);
- Programa gravado em EEPROM, com até 1.000.000 de ciclos de apagamento e escrita, com retenção garantida por mais de 40 anos;
- 2 temporizadores de oito *bits* programável, com pré-divisor também programável de oito *bits*;
- 1 temporizador de 16 *bits*; e
- Operação em tensões desde 2 a 5.5 V, com consumo de corrente típico em torno de 2 mA.

Para manter o número de terminais pequeno e ao mesmo tempo permitir ao microcontrolador comportar mais periféricos, vários pinos precisaram ser multiplexados, ou seja, diversos terminais possuem mais de uma função, dependendo da seleção do modo de operação feito pelo próprio PIC [6]. Essa pinagem pode ser observada na Figura 7.

FIGURA 7 – PINAGEM DO MICROCONTROLADOR PIC 16F877A

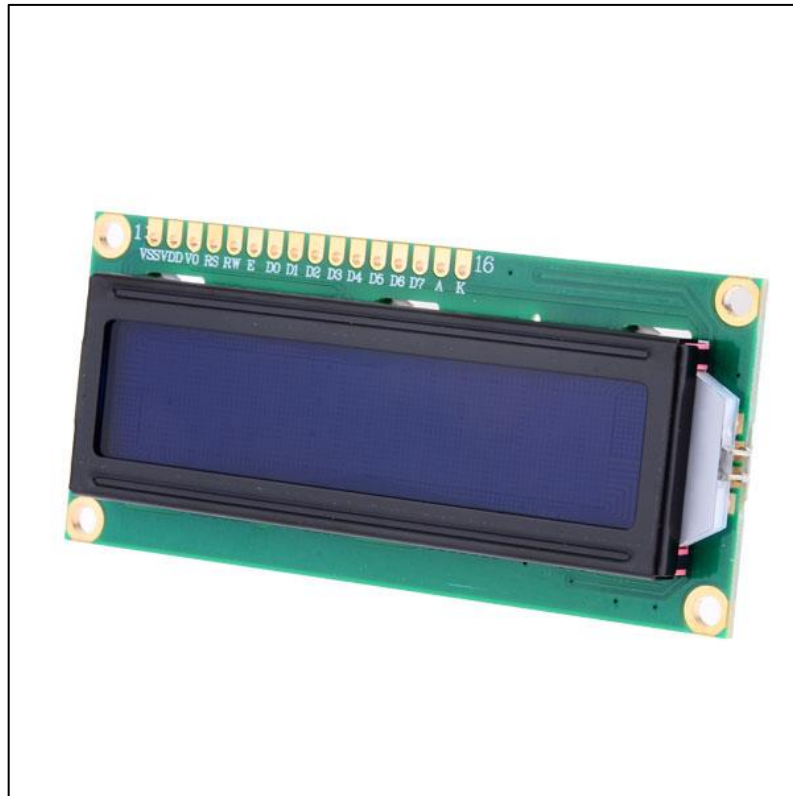


Fonte: https://components101.com/sites/default/files/component_pin/PIC16F877A-Pinout.png,
acessada em 02/11/2020.

4.1.2. *Display* LCD 16x2

Os Módulos de *Display* LCD de caracteres alfanuméricos são interfaces de comunicação visual. Eles se encontram em quase todos os aparelhos domésticos, eletroeletrônicos, automóveis, instrumentos de medição, etc. São dispositivos que possuem interfaces elétricas padronizadas e recursos internos gráficos e de *software* que permitem facilmente a permuta por outros fabricantes, sem que seja necessário alterar o programa de aplicação. A tecnologia predominante continua sendo o LCD (*Liquid Crystal Display*), porém já se pode encontrar alguns baseados em LEDs orgânicos (OLED) [8].

O módulo pode ser observado na Figura 8.

FIGURA 8 – DISPLAY LCD 16X2

Fonte: <https://uploads.filipeflop.com/2017/07/5LC01-2.jpg>, acessada em 02/11/2020.

Ele é composto por 16 colunas e 2 linhas com a escrita na cor preta e sua *backlight* (luz de fundo) verde ou azul para exibição de caracteres, letras e números de forma clara e nítida, melhorando a visibilidade para quem recebe a informação. O *Display LCD 16x2* dispõe do controlador HD44780, utilizado em toda indústria de LCDs como base de interface que pode ser operado em 4 ou 8 *bits* paralelamente. Sua conexão é feita através de 16 pinos, sendo 12 deles para conexão básica com o microcontrolador e 11 para pinos de entrada/saída (I/O) e os demais para ajuste de contraste através de potenciômetros, *trimpots* e alimentação da *backlight* [9]. Na Figura 9 pode-se observar a descrição dos pinos.

FIGURA 9 – PINAGEM DO *DISPLAY* LCD 16X2

Pino	Função	Descrição
1	Alimentação	Terra ou GND
2	Alimentação	VCC ou +5V
3	V0	Tensão para ajuste de contraste
4	RS Seleção:	1 - Dado, 0 - Instrução
5	R/W Seleção:	1 - Leitura, 0 - Escrita
6	E Chip select	1 ou (1 → 0) - Habilita, 0 - Desabilitado
7	B0 LSB	Barramento de Dados
8	B1	
9	B2	
10	B3	
11	B4	
12	B5	
13	B6	
14	B7 MSB	
15	A (qdo existir)	Anodo p/ <i>LED backlight</i>
16	K (qdo existir)	Catodo p/ <i>LED backlight</i>

Fonte: https://www.embarcados.com.br/wp-content/uploads/2015/04/Pinos_b.png, acessada em 02/11/2020.

Os LCDs são especificados principalmente por sua capacidade gráfica de comunicação, ou seja, o número de caracteres por linha e o número de linhas. Alguns valores típicos para essas especificações são [8]:

- Número de caracteres: 8, 12, 16, 20, 24 e 40; e
- Número de linhas: 1, 2 e 4.

4.2. Características do Circuito Eletrônico do Projeto

O grupo realizou, antes da montagem final do protótipo, diversos testes nos circuitos individualizados que compõem o equipamento, de forma a ser possível observar a atuação dos componentes e quais melhor se enquadravam na proposta de economia de espaço e custo, visando a eficiência. Nos itens a seguir serão tratados os assuntos pertinentes a lógica de funcionamento do dispositivo e o detalhamento de seu *hardware* e *software*.

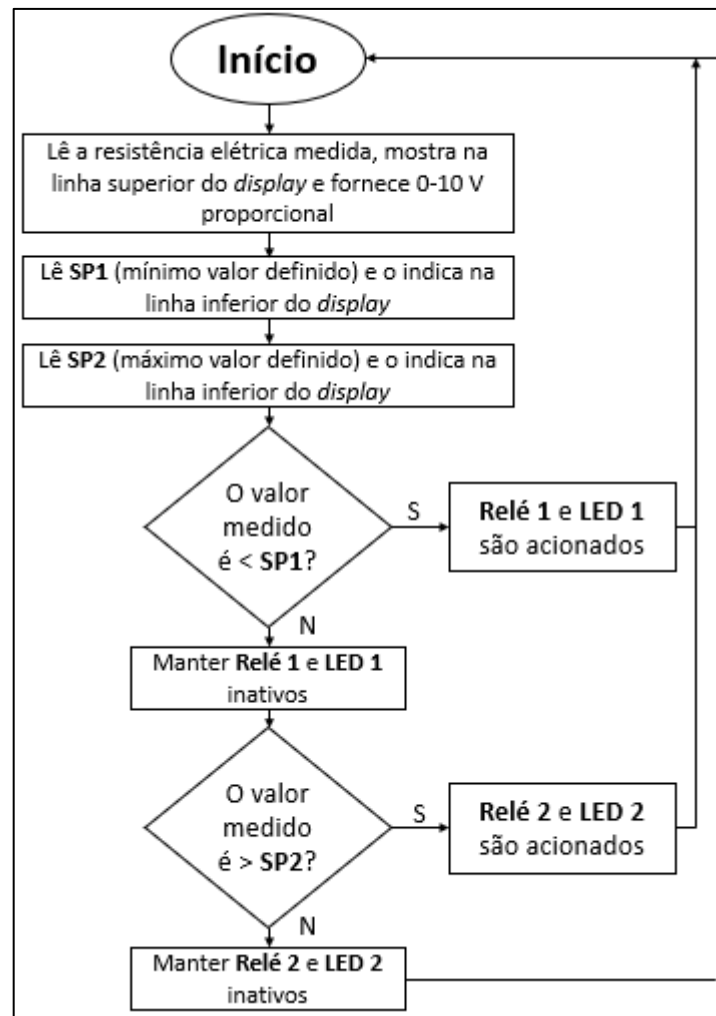
4.2.1. Fluxograma do Projeto

A lógica de autonomia do dispositivo se inicia ao energizá-lo, após, com auxílio do PIC 16F877A, é feita uma leitura constante das resistências testadas ao mesmo tempo que também ocorre uma comparação dos valores pré-definidos nos *sets point* SP1 (menor valor aceito) e SP2 (maior valor aceito). Todas estas mensuras são indicadas no *Display* LCD em tempo real, sendo possível observar se a tarefa do microcontrolador está sendo executada como esperado.

Essa comparação é tratada como uma pergunta sobre os valores medidos em relação aos esperados, desta forma, se eles forem menores ou maiores ocorre uma indicação luminosa, por meio dos LEDs, em simultâneo ao acionamento dos relés. Ambas as formas de aviso já se encontram acopladas ao dispositivo. Caso o valor calculado não ultrapasse o mínimo ou máximo pré-definidos, o equipamento permanece realizando a leitura e indicando a normalidade do produto testado.

Toda a sequência lógica de funcionamento do equipamento pode ser acompanhada na Figura 10.

FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DO PROJETO



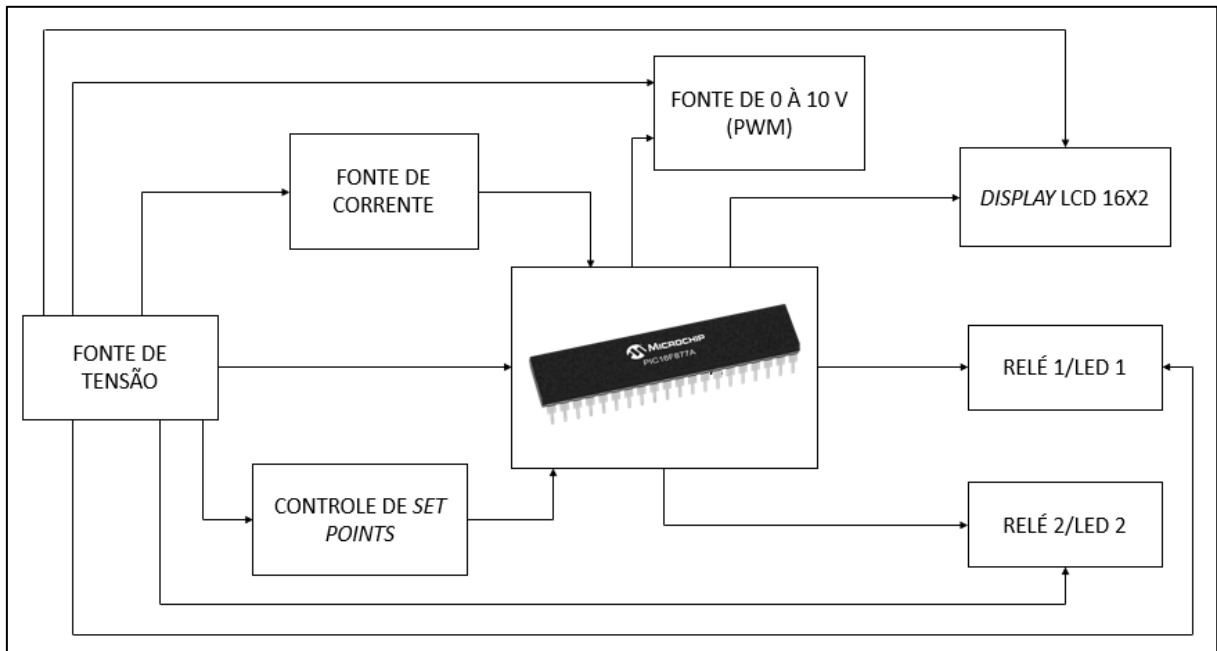
Fonte: Autores

4.2.2. Diagrama de Blocos do Projeto

A disposição de cada “mini-circuito”, conforme Figura 11, que compõem o equipamento por completo foi pensada na ordem de recepção e envio de dados, bem como sobre as alimentações necessárias. Basicamente todos os blocos são dependentes da fonte de tensão para seu funcionamento. A fonte de corrente, neste caso, tem como tarefa manter o valor fixo de fundo de escala, de forma que a medição da resistência torne a proporcionalidade um fator visível ao cérebro do dispositivo, o PIC 16F877A, que além de responsável pelo armazenamento dos valores pré-definidos, pelo cálculo das grandezas medidas e pela realização da comparação, também executa os comandos de acionamento dos indicadores luminosos e mecânicos e a conversão dos dados para visualização no *Display* LCD.

Por fim, a fonte de 0 a 10 V que é alimentada pela fonte de tensão geral, como os demais circuitos, utiliza a porta PWM do microcontrolador, a qual permite que esta variação no valor de saída ocorra.

FIGURA 11 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROJETO



Fonte: Autores

4.2.3. Circuito Eletrônico do Projeto

Assim como no Diagrama de Blocos, os esquemáticos dos circuitos constantes no dispositivo também serão divididos em partes, de forma a facilitar o entendimento de cada um independente e em conjunto.

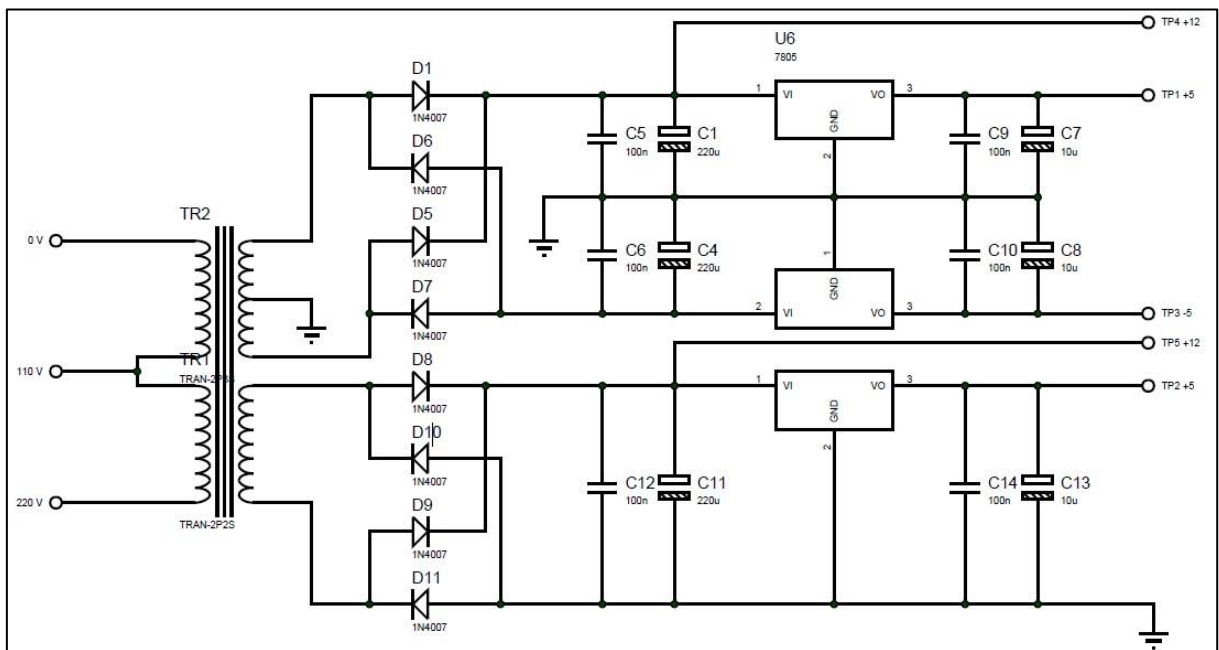
4.2.3.1. Fonte de Alimentação

Para suprir todas as saídas de tensão, optamos por utilizar um transformador com dois secundários distintos, sendo um deles com *Center Tap* para montagem de uma fonte simétrica e outro sem, para uma fonte comum. O secundário foi retificado por quatro diodos em pontes, juntos de um capacitor eletrolítico de 220 $\mu\text{F}/25\text{ V}$ para função de filtro. Para o acionamento dos relés foram utilizados os 12 V não regulados, pois a tensão de trabalho deles poderia variar próximo do valor nominal, sem acarretar

em problemas no seu funcionamento. Optamos pelos reguladores de tensão LM7805 e LM7905 para obtenção das tensões em TP1 e TP3, sendo 5 e -5 VCC, respectivamente, pois as tensões de saída ficam mais próximas do ideal e praticamente sem *ripple*. O secundário sem *Center Tap* também foi retificado por quatro diodos, assim como no com CT, com a utilização do capacitor eletrolítico para filtro.

Os 12 V não regulados serviram para alimentação do amplificador operacional da saída analógica. Optamos por energizar o *Display LCD* com uma nova fonte de 5 V, com intuito de não sobrecarregar o circuito que alimenta o microcontrolador e os ajustes, pois ao sobrecarregar os circuitos, a tensão de saída poderia oscilar causando variações nas tensões de referência, acarretando em erros nas medições.

FIGURA 12 – CIRCUITO FONTE DE ALIMENTAÇÃO DO PROJETO



Fonte: Autores

Dispondo de 5 saídas com tensões específicas, a Tabela 2 relaciona os circuitos correspondentes a elas.

TABELA 2 – RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE TENSÃO E OS CIRCUITOS DO PROJETO

Indicador	Tensão (V)	Circuito(s) alimentado(s)
TP1	5	Fonte de corrente, amplificadores operacionais, microcontrolador e ajuste de <i>set points</i>
TP2	5	<i>Display</i> LCD
TP3	-5	Amplificadores operacionais
TP4	12	Relés e LEDs
TP5	12	PWM

Fonte: Autores

4.2.3.2. Fonte de Corrente

Optamos pela montagem de uma fonte de corrente constante para aplicar a resistência e, assim, obter o valor de sua grandeza por meio da queda de tensão sobre ela. Para tanto, foi implementado um divisor de tensão para obtenção de uma diferença de potencial de referência de 1 V. Adicionamos um *buffer*, U1:A, para causar um efeito de casamento da impedância entre o divisor e o próximo circuito. Este em questão, U1:D, é um diferencial. Ao coletar a tensão da não-inversora, subtrai-se a tensão da inversora e multiplica pelo ganho, no caso 1x. O circuito de *buffer*, U1:C, funciona como um *feedback*, obtendo a tensão sobre a resistência medida e retorna para o circuito diferencial, que somada a tensão de referência (1 V) mantém a tensão sobre o R11 sempre em 1 V. Como esse resistor é de 1 k Ω , a corrente sempre se manterá em 1 mA. O amplificador operacional U2 também é um *buffer*, porém serve para ajustarmos o zero analógico por meio do *offset*.

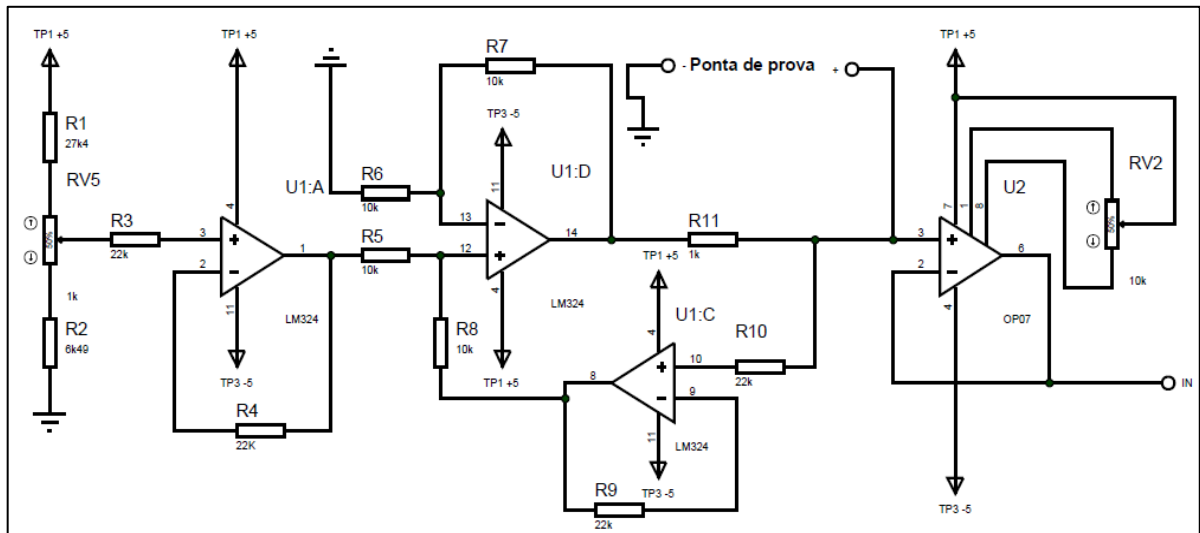
TABELA 3 – RELAÇÃO DA RESISTÊNCIA (RX) COM AS TENSÕES VRX, VRP E DE SAÍDA DIFERENCIAL

Resistência medida Rx (Ω)	Tensão sobre Rx VRx (V)	Tensão sobre RP VRP (V)	Tensão de saída Diferencial (V)
0	0	1,0	1,0
500	0,5	1,0	1,5
1000	1,0	1,0	2,0
1500	1,5	1,0	2,5
2000	2,0	1,0	3,0

Fonte: Autores

A utilização do CI OP07 tem relação com seu baixo valor de *offset* de saída nos terminais, permitindo o ajuste ideal das variações dos demais componentes também, como o LM324, por exemplo.

FIGURA 13 – CIRCUITO FONTE DE CORRENTE DO PROJETO COM SAÍDA DE 1 mA



Fonte: Autores

4.2.3.3. Circuito de Controle com PIC 16F877A

Para alcançar uma maior resolução de leitura nas entradas analógicas, optamos em utilizar uma tensão de referência menor do que a tensão de alimentação do microcontrolador. Com o nosso fundo de escala definido em 2,5 V, aplicamos essa diferença de potencial no PIC através do CI TL431. Comparado com o Zener, o TL possui uma referência mais estável. Desta forma, teríamos a totalidade de leitura analógica dentro desta faixa (0 a 2,5 V), variando a cada nível binário cerca de 2,4 mV. Ou seja, ao invés de termos 1024 níveis divididos entre 5 V, conseguimos 1024 entre os 2,5 V.

Com relação a estabilidade das leituras, realizamos, através da lógica, alguns testes de média de várias leituras ao longo de um determinado tempo. Porém o resultado foi um *delay* excessivo na visualização de novas leituras no LCD e a estabilidade desejada não foi alcançada. Por fim, entendemos que a leitura sem a média de valores era mais adequada para o propósito inicial do equipamento, tendo em vista que, por exemplo, a indutância de resistores de metal filme nas leituras podia apresentar uma variação na escala de unidades ôhmicas.

Pudemos concluir que a utilização de uma fonte de corrente maior aumentaria a queda de tensão sobre a resistência. Assim, teríamos menos oscilação na leitura, mas para isso seria necessário aumentar a margem de leitura do aparelho.

A Tabela 4 indica a ordem de utilização das portas para controle do circuito pelo PIC 16F877A:

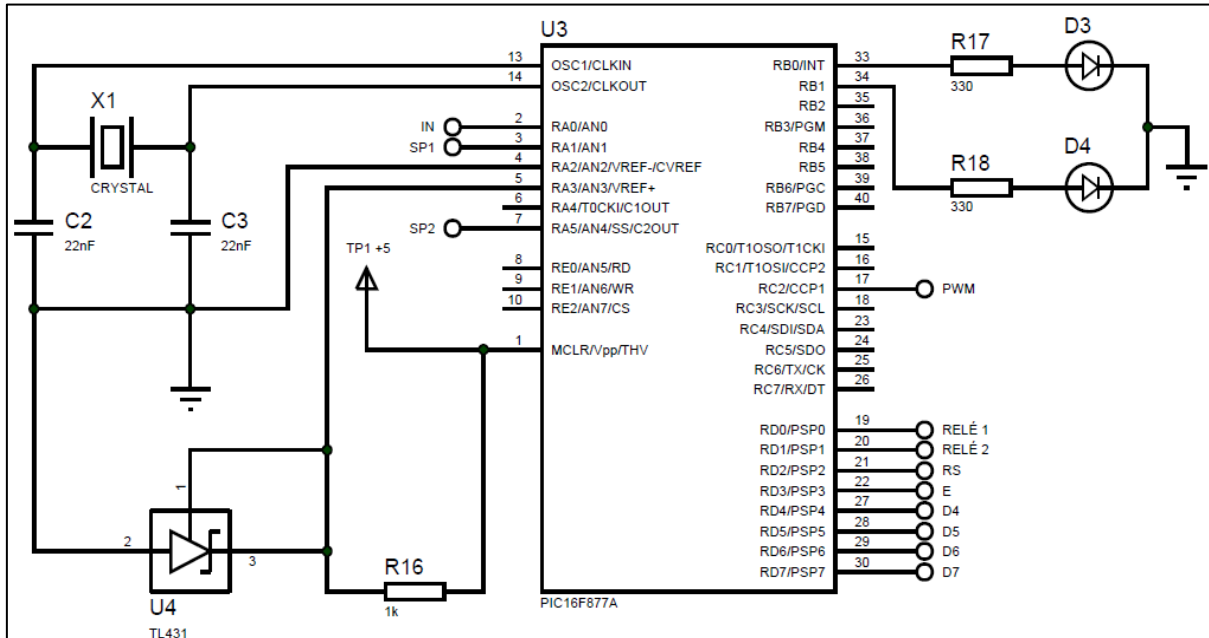
TABELA 4 – RELAÇÃO DE PINOS DO PIC 16F877A PARA CONTROLE DO PROJETO

Porta	Função
1	VPP (5 VCC)
2	RA0/AN0 – Entrada analógica (leitura da resistência medida)
3	RA1/AN1 – Entrada analógica (leitura do <i>Set Point</i> 1)
4	Vref- – (GND)
5	Vref+ – (2,5 VCC)
7	RA5/AN4 – Entrada analógica (leitura do <i>Set Point</i> 2)
11	VCC
12	GND
13	OSC 1
14	OSC 2
17	CCP1
19	RD0 – Saída Relé 1
20	RD1 – Saída Relé 2
21	RD2 – RS
22	RD3 – E
27	RD4 – D4
28	RD5 – D5
29	RD6 – D6
30	RD7 – D7
31	GND
32	VCC
33	RB0 – Saída LED/Relé 1
34	RB1 – Saída LED/Relé 2

Fonte: Autores

O circuito na Figura 14 permite verificar a disposição dos pinos para cada função específica.

FIGURA 14 – CIRCUITO DE CONTROLE DO PROJETO COM PIC 16F877A



Fonte: Autores

4.2.3.4. Circuito PWM

Segundo a programação gravada no Microcontrolador, há a geração de uma saída PWM de 0 a 5 V, de acordo com a leitura sobre o Rx, de forma a manter 0 Ω quando a tensão de saída for 0 V. Assim, quando a resistência máxima medida de 2 k Ω for atingida a tensão de saída máxima será de 5 V. Visando também a implementação do protótipo na área industrial, onde a comunicação analógica é padronizada em 0 a 10 VCC, adicionamos um circuito AOP de ganho 2, não inversor, para obtenção da saída com este valor desejado, proporcional a escala de 0 a 2 k Ω .

A relação da resistência obtida com as tensões calculadas teoricamente e medidas na prática, bem como o percentual de erro, pode ser observada na Tabela 5. A razão para variação da saída é de 0,005 V por cada 1 Ω .

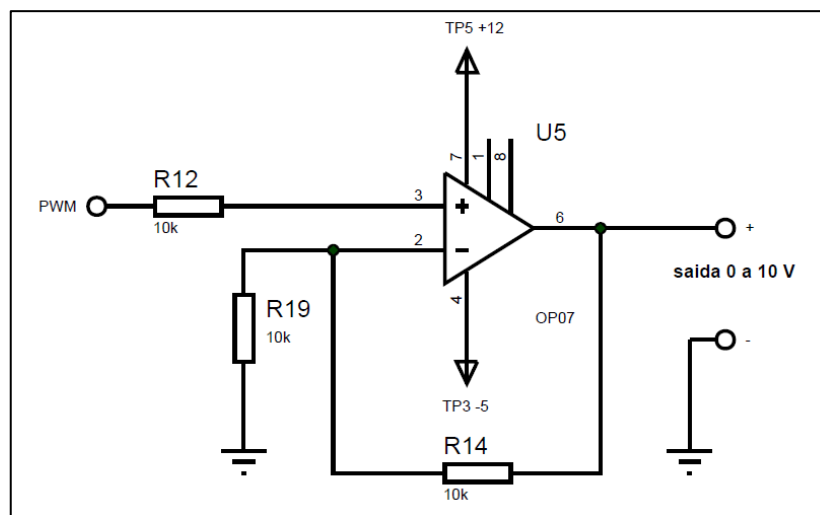
TABELA 5 – RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIAS OBTIDAS E TENSÕES MEDIDAS E CALCULADAS

Resistência medida (Ω)	Saída analógica calculada (V)	Saída analógica medida (V)	Erro (V)	Erro (%)
0	0,00	0,00	0,00	0,00
199	1,00	0,96	0,04	4,16
500	2,50	2,45	0,05	2,04
1001	5,00	4,96	0,04	0,81
1201	6,00	5,97	0,03	0,50
1499	7,49	7,46	0,03	0,47
2000<	10,00	10,00	0,00	0,00

Fonte: Autores

O circuito para a multiplicação da tensão de saída e obtenção dos 10 V é apresentado na Figura 15.

FIGURA 15 – CIRCUITO FONTE DE 0 A 10 VOLTS DO PROJETO (SAÍDA PWM)



Fonte: Autores

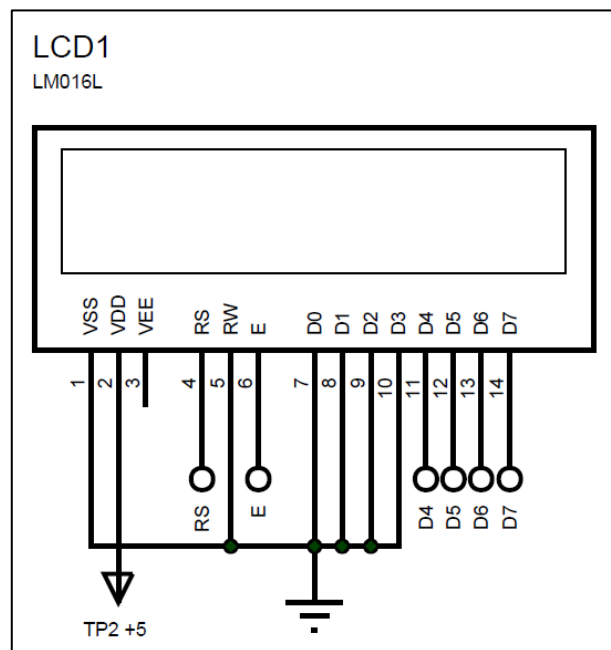
4.2.3.5. Circuito *Display* LCD 16x2

Conforme a sequência de pinos relacionados na Tabela 4, o *Display* LCD possui apenas 4 conexões diretas com o microcontrolador no que se refere a

transmissão de dados. Os demais pinos ou estão aterrados ou sendo utilizados para alimentação direta pela fonte de tensão, não sendo possível o compartilhamento do mesmo ponto de diferença de potencial, devido ao grande consumo de corrente elétrica exigido para o funcionamento da tela com seu fundo acesso.

Na Figura 16 será possível observar a disposição dos pinos e quais puderam ser interligados devido a mesma finalidade.

FIGURA 16 – RELAÇÃO DE PINOS DO *DISPLAY* LCD 16X2 NO PROJETO

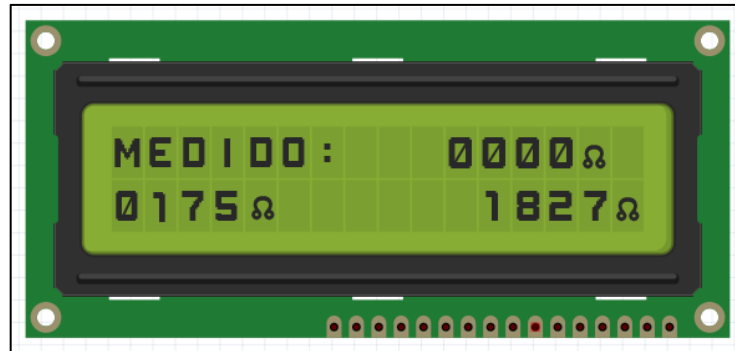


Fonte: Autores

De acordo com a programação descrita e gravada no microcontrolador, foi possível dispor no LCD os valores mensurados ao utilizar o protótipo, sendo o obtido pelas pontas de prova e os definidos como mínimo e máximo aceitáveis conforme o ajuste manual nos *set points*.

A Figura 17 ilustrada a visão do usuário com o protótipo em funcionamento com as pontas de prova interligadas, de forma que a resistência elétrica se torna nula, criando o início de escala do equipamento.

FIGURA 17 – SIMULAÇÃO DO *DISPLAY* AO MEDIR RESISTÊNCIA NULA

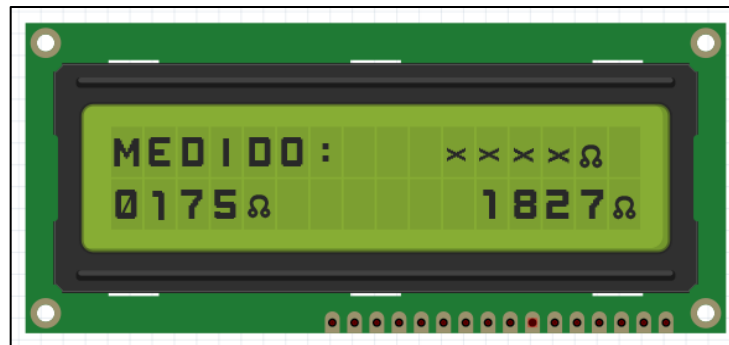


Fonte: Autores

Como no exemplo a resistência elétrica mínima ajustada é maior que a medida, ocorrerá, em paralelo à disposição dessas informações no próprio *Display* LCD, o acionamento do Relé 1 e a indicação luminosa do LED 1.

Caso a resistência obtida seja superior a 2 k Ω até o infinito, o campo de valor medido é substituído por asteriscos, conforme Figura 18.

FIGURA 18 – SIMULAÇÃO DO *DISPLAY* AO MEDIR RESISTÊNCIA ACIMA DE 2 k Ω



Fonte: Autores

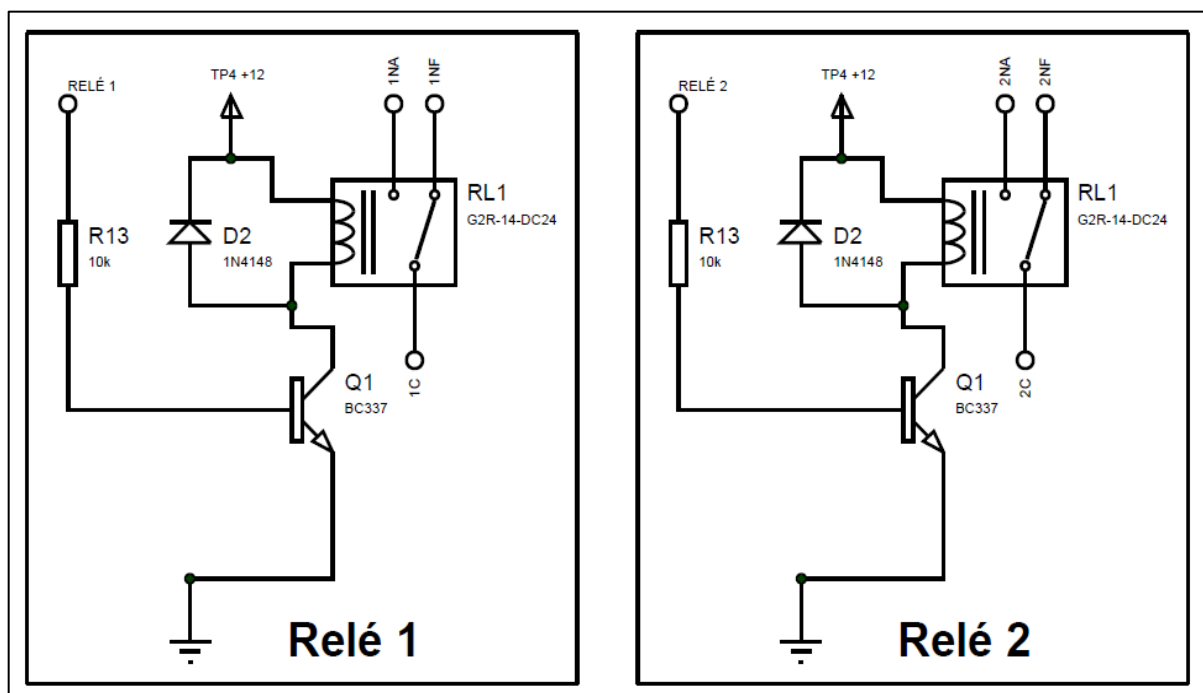
4.2.3.6. Circuito dos Relés e LEDs

O microcontrolador compara o valor de tensão da entrada AN0 com o das entradas AN1 e AN2. Se este valor sobre o Rx estiver menor que o definido no *Set Point* 1, o PIC automaticamente comutará o Relé 1 acenderá o LED 1, indicando, desta forma, que o objeto posto a medição não atingiu o valor mínimo desejado. O mesmo ocorrerá com o Relé 2 e LED 2 caso a o valor mensurado ultrapasse o pré-definido no

Set Point 2. Caso nenhum dos dois Relés e LEDs sejam acionados indica que o componente está dentro os padrões esperados.

Os Relés possuem como característica a possibilidade de chavear cargas externa de até 250 VAC/10 A. Ambos os circuitos são idênticos, possuindo como diferença apenas a relação de pinos ligados ao PIC, conforme Figura 19. Foi utilizado um transistor NPN como chave para acionamento dos relés. Ao aplicar o 5 V na base do transistor, ele fecha o circuito e dispara o relé.

FIGURA 19 – CIRCUITOS DOS RELÉS E LEDS NO PROJETO



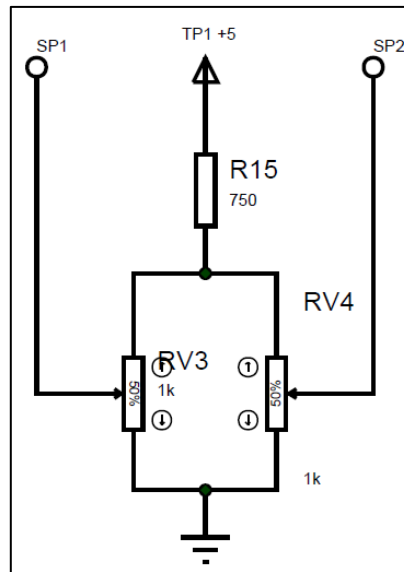
Fonte: Autores

4.2.3.7. Circuito de Ajuste dos *Set Points*

A entrada AN0 do PIC possui a função de leitura da tensão sobre a resistência medida Rx. Já as entradas AN1 (*Set Point* mínimo) e AN4 (*Set Point* máximo) são ajustadas na variação dos potenciômetros frontais do protótipo. Estes mesmos potenciômetros formam dois divisores de tensão que são capazes de variar a diferença de potencial entre 0 e 2 V.

A disposição dos terminais em relação ao PIC pode ser vista na Figura 20. Utilizamos de um divisor de tensão para cada ajuste de set point, que varia de 0 a 2 V por meio do potenciômetro.

FIGURA 20 – CIRCUITO DE AJUSTE DOS SET POINTS DO PROJETO

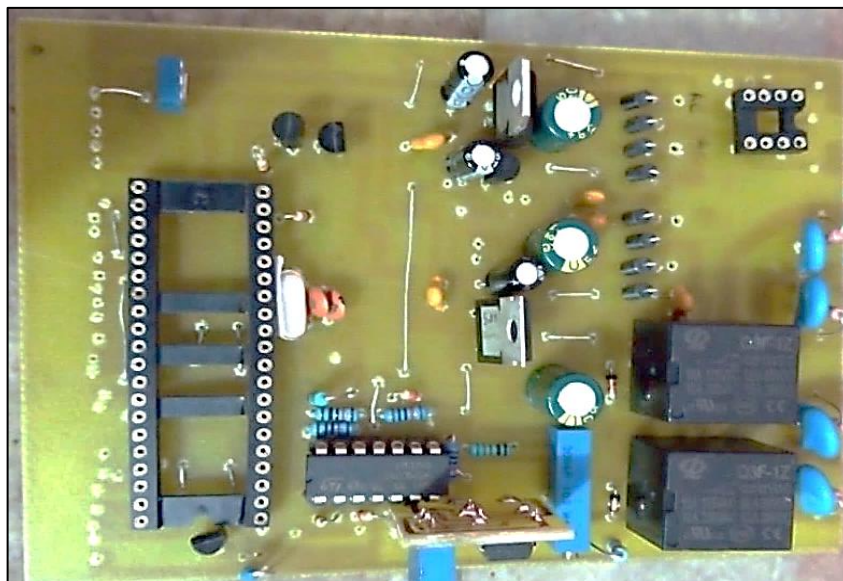


Fonte: Autores

4.2.4. Montagem Física do Protótipo

Após a realização dos estudos quanto aos componentes a serem utilizados, buscando maior eficiência e menor espaço, chegamos ao *layout* disposto na Figura 21, que representa o início do processo de soldagem em uma das placas de circuito impresso que englobariam 90% dos componentes.

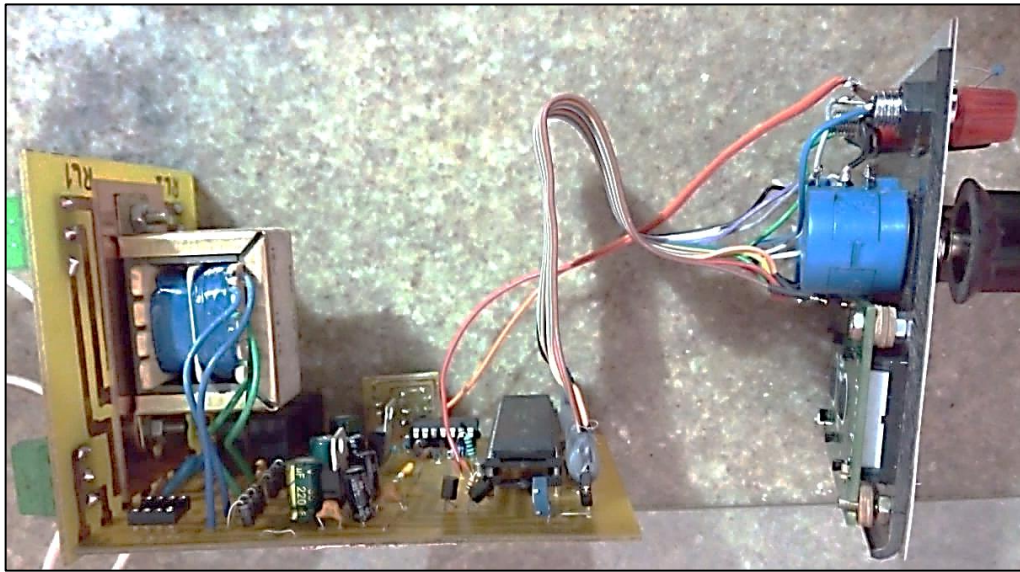
FIGURA 21 – INÍCIO DO PROCESSO DE SOLDAGEM DOS COMPONENTES – PLACA 1/2



Fonte: Autores

Na outra PCI dispomos do Transformador e dos Relés, de forma a aproveitar a possibilidade de fixação destes componentes em ambas as faces da placa. Ao finalizar a etapa de soldagem, posicionamos uma PCI em 90° com relação a outra, visando a organização e conservação do *hardware* logo após acomodá-lo na caixa acopladora que conta com saída para os Relés e um painel intuitivo para manuseio do protótipo. A Figura 22 demonstra todas as características descritas acima.

FIGURA 22 – INÍCIO DO PROCESSO DE SOLDAGEM DOS COMPONENTES – PLACA 2/2



Fonte: Autores

Com o circuito devidamente acoplado, o grupo resolveu pela apresentação do protótipo em forma de equipamento auxiliar de bancada para demonstrar os modos possíveis de implementação, como, por exemplo, em um painel CPL onde a saída PWM estaria disponível caso fosse necessária.

A Figura 23 apresenta o protótipo em um modo de operação que permite o acionamento de uma lâmpada caso a resistência medida esteja dentro dos valores definidos. Como forma de visualizar a resposta da saída PWM, em *Volts*, de acordo com a resistência obtida, foi posicionado um multímetro digital com as pontas de prova interligadas ao equipamento.

FIGURA 23 – APRESENTAÇÃO DO PRÓTIPO COM SIMULAÇÃO EM PAINEL

Fonte: Autores

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo abordaremos os resultados obtidos após a finalização da montagem do protótipo, além dos problemas e os percentuais de erros que obtivemos durante todo o processo.

5.1. Testes de Medições

Para realização dos testes iniciais de funcionamento do protótipo, optamos pela medida das resistências variadas que um potenciômetro de 10 k Ω pode disponibilizar. O componente poderá ser observado na Figura 24.

FIGURA 24 – POTENCIÔMETRO DE 10 k Ω UTILIZADO



Fonte: Autores

Ao posicionar as pontas de prova nos respectivos terminais do potenciômetro, ajustado em 440 Ω , o protótipo realizou a medição desta resistência com a indicação da mesma no *Display* e o respectivo acionamento do LED SP1, como aviso que o valor está abaixo do mínimo definido, 772 Ω .

Na figura 25 será possível visualizar a resposta do protótipo.

FIGURA 25 – RESPOSTA DO PROTÓTIPO AO MEDIR RESISTÊNCIA < SP1

Fonte: Autores

Ao realizar o aumento da resistência no potenciômetro para 1,584 kΩ, sendo este um valor maior que o definido como máximo pelo SP2, recebemos do protótipo a informação de inconformidade com o LED SP2 sendo acionado instantaneamente.

A Figura 26 ilustra os dados disponibilizados pelo protótipo, onde é possível observar que a resistência obtida não permaneceu dentro dos parâmetros desejados.

FIGURA 26 – RESPOSTA DO PROTÓTIPO AO MEDIR RESISTÊNCIA > SP2

Fonte: Autores

Caso seja estabelecida como mínima uma resistência superior a máxima, o protótipo está programado para alertar o usuário com uma mensagem no *Display*, disposta na Figura 27. Deste modo, o funcionamento do equipamento permanece interrompido até que o ajuste devido seja realizado.

FIGURA 27 – SIMULAÇÃO DE RESPOTA DO PROTÓTIPO CASO $SP1 > SP2$



Fonte: Autores

5.2. Comparação Técnica

Para realizar o procedimento de comparação com outro equipamento de seguimento semelhante ao nosso protótipo, optamos por um gabarito de resistores com valores que transitam de 0 a 2 k Ω , os quais tiveram suas quedas de tensões devidamente medidas com auxílio do multímetro modelo Agilent U3402A 5 1/2 *Digit Dual Display*, fabricado pela *Agilent Technologies, Inc.*, de forma a padronizar os resultados a serem obtidos.

Além de toda a precisão alcançada com este multímetro profissional, garantimos que a corrente elétrica, de 1 mA, constante e necessária para mensurar a queda de tensão também estivesse com o mínimo de variação possível e, para tanto, contamos com o calibrador digital modelo 5500A *Multi-Product Calibrator*, fabricado pela *Fluke Corporation*, capaz de gerar até 11 A de corrente contínua.

Na Figura 28, será possível observar um dos gabaritos de resistores soldados sobre PCI de material fenolite e cobertos com resina epóxi para proteção, utilizados nesta etapa de testes.

FIGURA 28 – GABARITO DE RESISTORES DE 22,6 A 181,9 Ω



Fonte: Autores

O multímetro digital modelo DM-890, fabricado pela Mesco Tecnologia e Comércio Ltda., dispõe de uma faixa de medição de resistência elétrica entre 200 Ω e 200 M Ω , com resolução de 0.1 Ω à 100 k Ω e média de precisão em 0,8%. Por estes motivos, foi o instrumento profissional escolhido para realizar o confronto de medição dos gabaritos. Na Tabela 6 é possível constatar que o protótipo alcançou valores consideráveis em relação ao equipamento de precisão e os cálculos teóricos, com pequenos percentuais de erro.

TABELA 6 – COMPARAÇÃO DE RESISTÊNCIA MEDIDA ENTRE O MULTÍMETRO DM-890 E O OHMÍMETRO PROJETADO NESTE TRABALHO

Resistência calculada (Ω)	Resistência medida Multímetro (Ω)	Resistência medida Ohmímetro Digital (Ω)	Erro (Ω)
0	0	0	0
2	2	2	0
10	10	9	-1
22,6	22,6	24	1,4
100	100,1	101	0,9
182	181,9	182	0,1
442	440	440	0
1000	997	996	-1
1430	1433	1432	-1
2000	1990	1991	1

Fonte: Autores

5.3. Resultados para Validação em Grande Escala

Como forma de avaliar a eficiência do protótipo em uso contínuo, foram separados mais 30 resistores divididos em 3 valores, 750 Ω , 1 k Ω e 1,4 k Ω , respectivamente, todos em metal filme e com 1% de tolerância como informado pelo fabricante, para serem postos em medição pelo multímetro profissional mencionado anteriormente e o equipamento produzido pelo grupo.

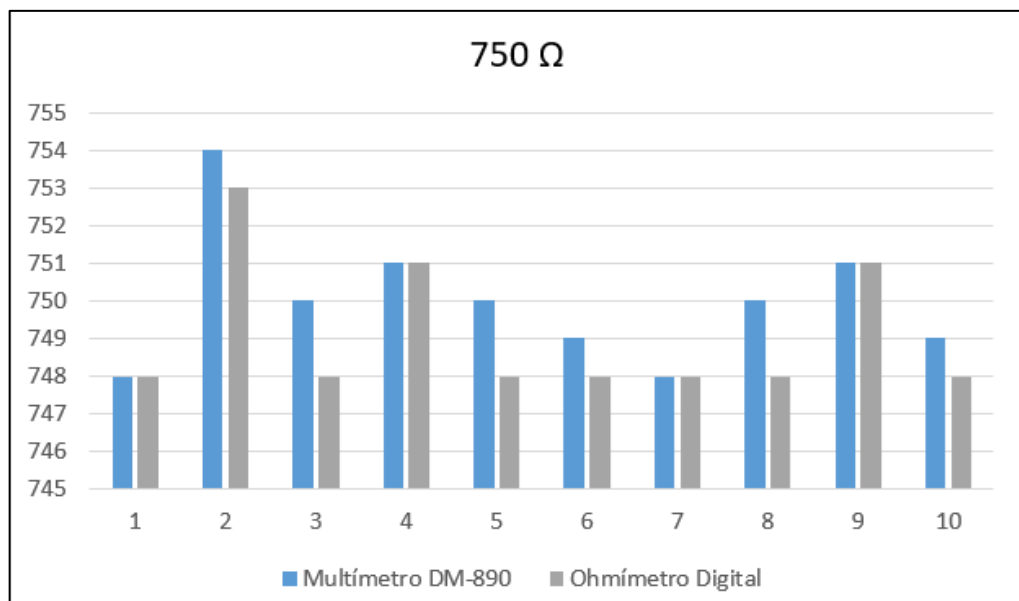
O resultado, registrado na Tabela 7 e ilustrado nos Gráficos 2, 3 e 4, demonstra a possibilidade de substituição do multímetro sem a perda de serventia.

TABELA 7 – MEDIÇÕES CONSTANTES DE RESISTÊNCIA PARA COMPARAÇÃO DO MULTÍMETRO DM-890 E O OHMÍMETRO PROJETADO NESTE TRABALHO

Valor: 750 Ω material: metal filme tolerância: 1%										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Multímetro DM-890	748	754	750	751	750	749	748	750	751	749
Ohmímetro Digital	748	753	748	751	748	748	748	748	751	748
Valor: 1 kΩ material: metal filme tolerância: 1%										
Multímetro DM-890	996	998	996	995	994	995	997	996	996	995
Ohmímetro Digital	994	996	994	994	991	991	996	994	994	994
Valor: 1,4 kΩ material: metal filme tolerância: 1%										
Multímetro DM-890	1395	1395	1398	1393	1395	1395	1395	1395	1394	1394
Ohmímetro Digital	1394	1394	1396	1391	1394	1394	1394	1394	1394	1394

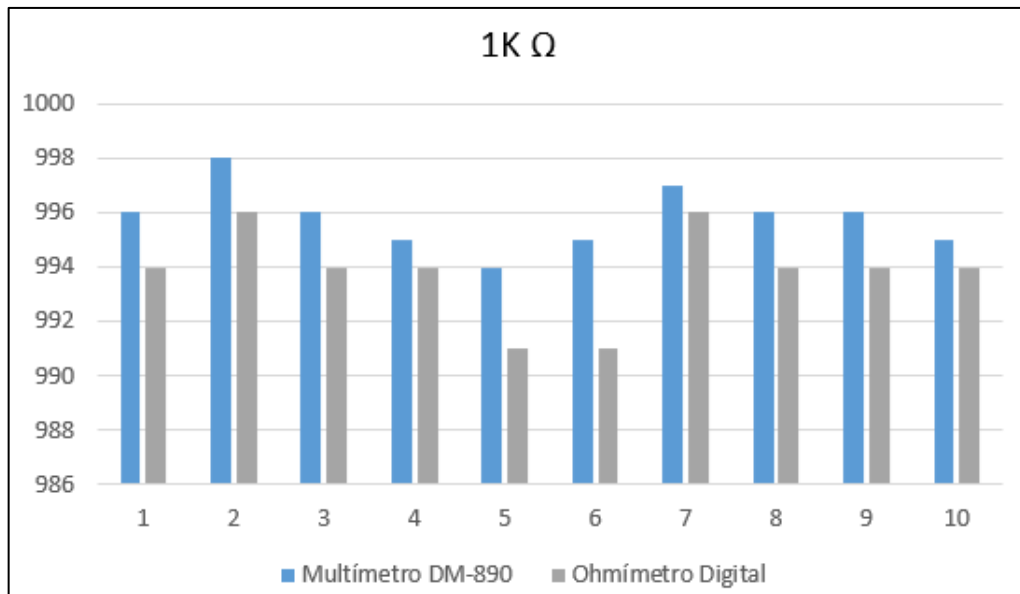
Fonte: Autores

GRÁFICO 2 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE O MULTÍMETRO DM-890 E O OHMÍMETRO PROJETO NESTE TRABALHO – 750 Ω



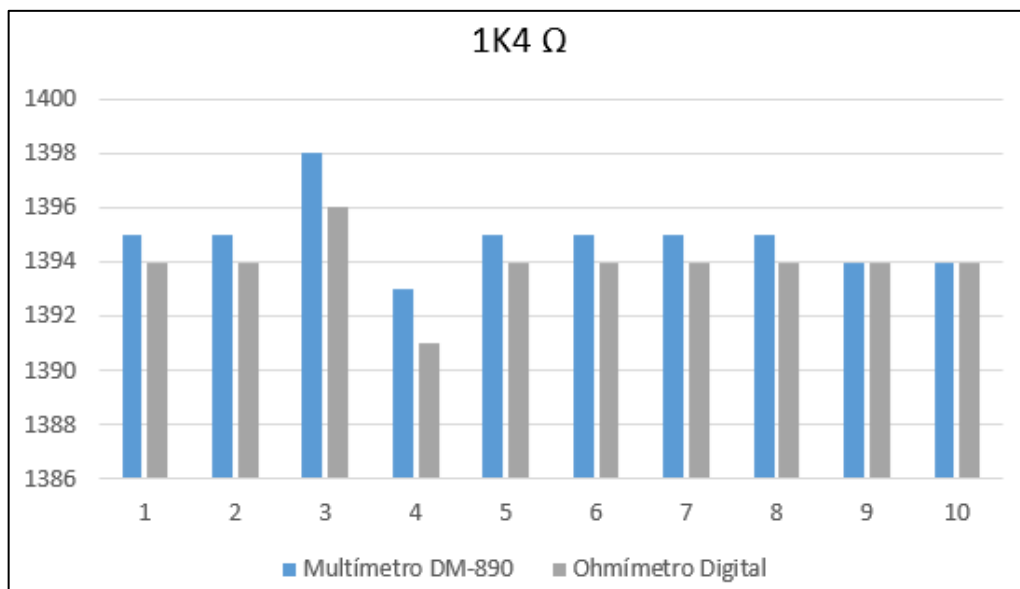
Fonte: Autores

GRÁFICO 3 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE O MULTÍMETRO DM-890 E O OHMÍMETRO PROJETO NESTE TRABALHO – 1 k Ω



Fonte: Autores

GRÁFICO 4 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS ENTRE O MULTÍMETRO DM-890 E O OHMÍMETRO PROJETO NESTE TRABALHO – 1,4 k Ω



Fonte: Autores

5.4. Custos do Projeto

Ao relacionar o valor de todos os componentes novos utilizados na confecção do protótipo, notamos a disparidade de preço final com relação à ohmímetros

profissionais. A característica de cada componente, o valor por unidade e a quantidade adquirida poderá ser analisada na Tabela 8.

TABELA 8 – CUSTOS DO PROJETO

Componente	Quantidade	Valor unitário	Valor final
Capacitor cerâmico 100 k / 50 V	6	R\$ 0,10	R\$ 0,60
Capacitor eletrolítico 200 μ / 25 V	3	R\$ 0,10	R\$ 0,30
Capacitor eletrolítico 10 μ / 16 V	3	R\$ 0,15	R\$ 0,45
Diodo 1N4007	8	R\$ 0,10	R\$ 0,80
Regulador LM7805	2	R\$ 2,40	R\$ 4,80
Regulador LM79L05	1	R\$ 2,40	R\$ 2,40
Transformador com 2 secundários (12 V, 12 V + 12 V)	1	R\$ 38,50	R\$ 38,50
Amplificador operacional LM324	1	R\$ 0,60	R\$ 0,60
Amplificador operacional OP07	2	R\$ 10,00	R\$ 20,00
Resistor de carbono 22 k Ω	4	R\$ 0,10	R\$ 0,40
Resistor de metal filme 10 k Ω	8	R\$ 0,10	R\$ 0,80
Resistor de metal filme 1 k Ω	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
Resistor de metal filme 27,4 k Ω	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
Resistor de metal filme 6,49 k Ω	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
Trimpot multi voltas 1 k Ω	1	R\$ 1,50	R\$ 1,50
Trimpot multi voltas 10 k Ω	1	R\$ 1,50	R\$ 1,50
Resistor metal filme 100 k Ω	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
Capacitor cerâmico 220 kF	1	R\$ 0,10	R\$ 0,10
Relé 12 VCC NA/NF	2	R\$ 4,00	R\$ 8,00
Diodo 1N4148	2	R\$ 1,40	R\$ 2,80
Resistor carbono 330 $\frac{1}{4}$ W	2	R\$ 0,10	R\$ 0,20
LED 5mm vermelho	2	R\$ 0,30	R\$ 0,60
Transistor BC548	2	R\$ 0,40	R\$ 0,80
Potenciômetro 1 k Ω	2	R\$ 2,00	R\$ 4,00
Resistor de carbono 750 $\frac{1}{4}$ W	2	R\$ 0,10	R\$ 0,20
PIC 16F877A	1	R\$ 30,00	R\$ 30,00
Cristal 16M Hz	1	R\$ 2,40	R\$ 2,40
Capacitor cerâmico 22 μ F	2	R\$ 0,10	R\$ 0,20
Regulador TL431	1	R\$ 0,30	R\$ 0,30
Mini Trimpot vertical 47 k Ω	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
Display LCD 16x12	1	R\$ 23,48	R\$ 23,48
Total			R\$ 148,13

Fonte: Autores

6. CONCLUSÕES

A resistência elétrica mal mapeada em uma etapa de testes de qualidade pode causar prejuízos econômicos diretamente relacionados à segurança, desperdício de matéria prima e satisfação do cliente. Com isto em vista, o grupo entendeu a importância de implementar um equipamento que auxiliasse nesta função, dispondo de aspectos que diversificassem seu uso.

Com a realização do trabalho, constatamos as funcionalidades de diversos componentes, em especial o microcontrolador, que se mostrou versátil e prático como gerenciador de todas informações emitidas e recebidas pelo protótipo.

Conforme descrito no Capítulo 5, conclui-se que os objetivos estabelecidos no início deste trabalho foram atingidos, uma vez que a utilização de um dispositivo com estas características contribui significativamente para a solução de problemas e na diminuição de gastos no geral. As medidas obtidas se compararam aos dispositivos comerciais, de acordo com as taxas de erro relatadas, apresentando vantagens em seu valor final e porte.

6.1. Projetos Futuros

Como forma de ampliar os modos de atuação do projeto, dependendo do objetivo de sua implementação, vemos como sugestão de melhoria a adição de um sistema próprio de armazenamento dos valores medidos, no intuito de formular um histórico detalhado sobre os índices. Com base nestes dados salvos, seria possível a elaboração de relatórios, os quais seriam utilizados para obtenção de gráficos, tabelas, etc., para auxiliar no estudo de diminuição de produtos defeituosos.

Outra opção, seria a automatização na intervenção humana no manuseio do equipamento, incluindo-o diretamente em uma linha de produção de certo circuito resistivo que necessite de testes de qualidade constantes, adquirindo uma maior precisão.

Também há possibilidade de ampliação das grandezas que podem ser medidas, sejam elas tensão ou corrente elétrica, realizando a adaptação do projeto com a retirada da fonte de corrente, implemento um sistema de leituras analógicas, através de médias, e com a mudança de *range*.

6.2. Referências Bibliográficas

[1] Juran, J. M. A qualidade desde o projeto: Novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços. Editora Pioneira, São Paulo, 2001.

[2] *Falcon* Indústria Eletrônica – Introdução – Testes de Qualidade na Indústria Eletroeletrônica. [Internet]. [acesso em 2020 set 23]. Disponível em: <http://falconeletronica.com.br/storage/app/media/testes-para-aplicar-em-placas-eletronicas.pdf>.

[3] Ronqui Junior, Dorival. Minimanual de Pesquisa Física. 2ª Edição. Editora Claranto, Uberlândia, 2004.

[4] Bonjorno, José Roberto et al. Física Fundamental – Novo. Volume único. Editora FTD, São Paulo, 1999.

[5] Instituto de Física de São Carlos – USP – Laboratório de Eletricidade e Magnetismo: Instrumentos de Medidas Elétricas I: Voltímetro, Amperímetros e Ohmímetros. [Internet]. [acesso em 2020 out 10]. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicaIII/08-InstrumentosdeMedidasEletricas-I.pdf>.

[6] Trevisan, Pedro V. T – Microcontroladores. [Internet]. [acesso em 2020 out 13]. Disponível em: http://www.radioamadores.net/files/microcontroladores_pic.pdf.

[7] Solbet Ltda. Considerações Básicas Sobre o PIC 16F877A. 1ª Versão, Campinas, 2007.

[8] Puhmann, Henrique F. W. – Embarcados – Módulo de *Display* LCD. [Internet]. [acesso em 2020 out 13]. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/modulo-de-display-lcd/>.

[9] Curto Circuito Componentes Eletrônicos Ltda – *Display* LCD 16X2 – BackLight Azul. [Internet]. [acesso em 2020 nov 02]. Disponível: <https://www.curtocircuito.com.br/display-lcd-16x2-backlight-azul.html>.

6.3. Apêndice

6.3.1. Software de Controle do Dispositivo

//***** BLOCO DE APRESENTAÇÃO *****

```
* Nome do projeto: Trabalho de Conclusão de Curso - Ohmímetro Digital Controlador; *
* Data de última revisão: 02/05/2021; *
* Microcontrolador: P16F877A; *
* Oscilador: 12 MHz; *
* Compilador: MikroC para PIC; *
* Versão do compilador: 7.2.0; *
* Autores: *
* Filipe Pinheiro Brito _____ RA. 17112031; *
* Gustavo Fernandes Thirion _____ RA. 17112020; e *
* Ronaldo Gonçalves da Silva Junior _____ RA. 17102741. *
* *
* Descrição: *
* Medição de resistências controlados por set points permitindo: *
* - Programação de limites de tolerância de erro (mínimo e máximo); *
* - Sinalização ou comando de seleção externa, acionando, por exemplo, válvulas, comportas *
*ou desvios de peça fora do padrão. *
* *
* Interface com usuário: *
* - Potenciômetro (SP1-MÍN) - Define o valor de resistência mínimo que o Ohmímetro irá trabalhar; *
* - Potenciômetro (SP2-MÁX) - Define o valor de resistência máximo que o Ohmímetro irá trabalhar. *
```

//***** PINAGEM DO DISPLAY *****

```
sbit LCD_RS at RD2_bit;
sbit LCD_EN at RD3_bit;
sbit LCD_D4 at RD4_bit;
sbit LCD_D5 at RD5_bit;
sbit LCD_D6 at RD6_bit;
sbit LCD_D7 at RD7_bit;
sbit LCD_RS_Direction at TRISD2_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISD3_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISD4_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISD5_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISD6_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISD7_bit;
```

***** DECLARAÇÃO DE VARIÁVEIS *****

```

char vetor1[]={ 'A','T','E','N','C','A','O' };
char vetor2[]={ 'A','J','u','s','t','i','a','r','i','S','P','1','<','S','P','2' };
char x, refMedidoDec;
const char ch1[]={8,8,16,16,31,1,2,2};           //Vetores criados pela ferramenta LCD Char Character...
const char ch2[]={0,0,0,0,3,2,4,4};             //...para o logo FATEC;
const char ch3[]={2,2,4,5,29,1,30,16};
const char ch4[]={4,4,8,8,15,0,3,0};
const char ch5[]={9,9,18,18,20,4,28,0};
const char ch6[]={0,14,17,17,17,10,27,0};       //Vetor criado para caracter Ômega;
unsigned int sp1=0;                             //Variável para o SET POINT MÍN.;
unsigned int sp2=0;                             //Variável para o SET POINT MÁX.;
unsigned int medido=0;                          //Variável para o VALOR MEDIDO DE RESISTÊNCIA;
unsigned int k, amostra, aferido, G;
unsigned int fundoEscala=2500;                 //Variável do valor de resistência no fundo da escala;
double sp1Round, sp2Round, medidoRound;

```

***** FUNÇÃO DE CONFIGURAÇÃO DOS I/O *****

```

void config_MCU()                               //Sub rotina configura os I/O do PIC;
{
TRISA.RA0=1;                                  //RA0 configurado como entrada (Resistência medida);
TRISA.RA1=1;                                  //RA1 configurado como entrada (SP1-MÍN);
TRISA.RA2=1;                                  //RA2 configurado como entrada (SP2-MÁX);
PORTA=0;                                       //Inicializa portas A com nível baixo 0V;
TRISB.RB0=0;                                  //RB0 configurado como saída (Led sinalização relé 1);
TRISB.RB1=0;                                  //RB1 configurado como saída (Led sinalização relé 2);
PORTB=0;                                       //Inicializa portas B com nível baixo 0V;
TRISD=0;                                       //PORTD como saída (Sinalização luminosa de...
PORTD=0;                                       //... máx e mín) e controle do display LCD;
Lcd_Init();                                    //Inicializa display LCD;
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);                          //Apaga display;
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF);                    //Cursor desligado;
ADC_Init_Advanced(_ADC_EXTERNAL_REF);        //Inicializa modulo ADC com configurações das...
//... tensões de referências dos pinos Vref+ e Vref-;
PWM1_Init(1000);                              //Inicializa módulo PWM com 1kHz;
PWM1_Start();                                  //Liga módulo PWM no canal 1;
PWM1_Set_Duty(0);                             //Modulação inicial em 0%;
}

```

***** CARACTER ESPECIAL *****

```

void CustomChar()                             //Sub rotina carrega no LCD o logo FATEC, usando...
{
char i;                                       //...3 espaços na linha 1 e 2 espaços na linha 2;
Lcd_Cmd(64);
for (i=0;i<=7;i++)
    Lcd_Chr_CP(ch1[i]);

```

```

for (i=0;i<=7;i++)
  Lcd_Chr_CP(ch2[i]);
for (i=0;i<=7;i++)
  Lcd_Chr_CP(ch3[i]);
for (i=0;i<=7;i++)
  Lcd_Chr_CP(ch4[i]);
for (i=0;i<=7;i++)
  Lcd_Chr_CP(ch5[i]);
for (i=0;i<=7;i++)           //Carrega no LCD caracter Ômega;
  Lcd_Chr_CP(ch6[i]);
}                             //Fim da sub rotina;

```

```

//***** FUNÇÃO MENU LOGO FATEC *****

```

```

void menu_0()                //Sub rotina com tela do logo FATEC;
{
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);      //Apaga display LCD;
  Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); //Cursor desligado;
  CustomChar();             //Chama rotina com logo da FATEC;
  Lcd_Chr(1,2,0);
  Lcd_Chr(1,3,1);
  Lcd_Chr(1,4,2);
  Lcd_Chr(2,2,3);
  Lcd_Chr(2,3,4);
  Lcd_Out(1,6,"FATEC - SP"); //Imprime na linha 1 do LCD "FATEC - SP";
  Lcd_Out(2,6,"Tecnologia"); //Imprime na linha 2 do LCD "Tecnologia";
  Delay_ms(5000);           //Atraso de 5s;
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);      //Apaga display LCD;
}                             //Fim da sub rotina;

```

```

//***** FUNÇÃO MENU AUTORES *****

```

```

void menu_1()                //Sub rotina com nomes dos autores;
{
  Lcd_Out(1,6,"AUTORES");
  delay_ms(2000);
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);      //Apaga Display LCD;
  Lcd_Out(1,1,"FILIPE RONALDO");
  Lcd_Out(2,1," GUSTAVO ");
  delay_ms(4000);
  Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR);      //Apaga Display LCD;
}                             //Fim da sub rotina;

```

```

//***** FUNÇÃO TELA PRINCIPAL (ELEMENTOS ESTÁTICOS) *****

```

```

void tela_estatica()        //Sub rotina para criar o menu principal de medição;
{
  Lcd_Out(1,2,"MEDIDO:");   //Imprime `MEDIDO`;
  CustomChar();             //Chama rotina para imprimir no LCD o caracter...
  Lcd_Chr(1,15,5);          //... Ômega;
}

```

```
Lcd_Chr(2,6,5);
Lcd_Chr(2,16,5);
} //Fim da sub rotina;
```

```
***** FUNÇÃO PWM SOBRE RESISTÊNCIA MEDIDA *****
```

```
void pwm_10V(float ohm) //Sub rotina para controle de tensão auxiliar 10V;
{
  unsigned char dutyCycle;

  dutyCycle = (ohm/2000)*255;

  PWM1_Set_Duty(dutyCycle); //Modulo canal 1 conforme valor medido;
} //Fim da sub rotina;
```

```
***** FUNÇÃO SET-POINT 1 (MÍNIMO) *****
```

```
void sp1_min() //Sub rotina para lógica de set-point mínimo;
{
  sp1Round = ADC_Get_Sample(1); //Seta valor m de resistência, em 10 bits;

  sp1Round = sp1Round/1023;

  sp1 = sp1Round*fundoEscala;

  Lcd_Chr(2,1,(sp1/10000)*17+' '); //17 é o valor de casas da tabela ANSI de ' ' para '1'
  Lcd_Chr_CP((sp1%10000)/1000+'0');
  Lcd_Chr_CP((sp1%1000)/100+'0');
  Lcd_Chr_CP((sp1%100)/10+'0');
  Lcd_Chr_CP((sp1%10)+'0');
  Delay_ms(100); //Atraso de 100ms;
} //Fim da sub rotina;
```

```
***** FUNÇÃO SET-POINT 2 (MÁXIMO) *****
```

```
void sp2_max() //Sub rotina para lógica de set-point máximo;
{
  sp2Round = ADC_Get_Sample(4); //Seta valor m de resistência, em 10 bits;

  sp2Round = sp2Round/1023;

  sp2 = sp2Round*fundoEscala;

  Lcd_Chr(2,11,(sp2/10000)*17+' '); //17 é o valor de casas da tabela ANSI de ' ' para...
  Lcd_Chr_CP((sp2%10000)/1000+'0'); //... '1';
  Lcd_Chr_CP((sp2%1000)/100+'0');
  Lcd_Chr_CP((sp2%100)/10+'0');
  Lcd_Chr_CP((sp2%10)+'0');
  Delay_ms(100); //Atraso de 100ms;
```

```

} //Fim da sub rotina;

//***** FUNÇÃO MEDIDA PONTA DE PROVA *****

void pontaDeProva() //Sub rotina para lógica de set-point máximo;
{
medidoRound = ADC_Get_Sample(0); //Seta valor m de resistência, em 10 bits;

medidoRound = medidoRound/1023;

medido = medidoRound*fundoEscala;

if(medido<=2000) //Limita leitura para 2k Ohm, se não destaca com..
{ //... ****;

Lcd_Chr(1,10,(medido/10000)*17+' '); //17 é o valor de casas da tabela ANSI de ' ' para...
Lcd_Chr_CP((medido%10000)/1000+'0'); //... '1';
Lcd_Chr_CP((medido%1000)/100+'0');
Lcd_Chr_CP((medido%100)/10+'0');
Lcd_Chr_CP((medido%10)+'0');
}
else
{
pwm_10V(2000);

Lcd_Out(1,11, "****");
}
Delay_ms(100); //Atraso de 100ms;
} //Fim da sub rotina;

//***** FUNÇÃO VALIDA AJUSTE DE MINIMO E MAXIMO *****

```

```

void valida_ajuste() //Sub rotina que verifica se mínimo é maior que...
{ //... máximo;
if(sp1>sp2)
{
portd.RD0 = 1;
portd.RD1 = 1;
delay_ms(1000); //Atraso de 1s;
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Apaga display LCD;
Lcd_Chr(1,6,vetor1[0]);
for(x=1;x<=6;x++) Lcd_Chr_CP(vetor1[x]);
Lcd_Chr(2,2,vetor2[0]);
for(x=1;x<=14;x++) Lcd_Chr_CP(vetor2[x]);
portd.RD0 = 0;
portd.RD1 = 0;
delay_ms(1500); //Atraso de 1s;
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); //Apaga display LCD;
}
}

```

```

}
} //Fim da sub rotina;

```

```

//***** FUNÇÃO RELE 1 *****

```

```

void rele_1() //Sub rotina para acionamento do rele 1, ...
{ //... conforme condição do set-point mínimo;
if(sp1>medido)
{
PORTD.RD0=1;
PORTB.RB0=1;
}
else
{
PORTD.RD0=0;
PORTB.RB0=0;
}
} //Fim da sub rotina;

```

```

//***** FUNÇÃO RELE 2 *****

```

```

void rele_2() //Sub rotina para acionamento do rele 2,...
{ //... conforme condição do set-point máximo;
if(sp2<medido)
{
PORTD.RD1=1;
PORTB.RB1=1;
}
else
{
PORTD.RD1=0;
PORTB.RB1=0;
}
} //Fim da sub rotina;

```

```

//***** FUNÇÃO PRINCIPAL *****

```

```

void main() //Inicia função principal
{
config_MCU(); //Chama sub rotina para configuração dos I/O...
//... do PIC;

//menu_0(); //Chama sub rotina da tela de apresentação;
//menu_1(); //Chama sub rotina com nome dos autores;

while(1) //Loop infinito;
{
tela_estatica(); //Chama sub rotina do menu principal com...
}
}

```

```
sp1_min(); //... medições;
           //Chama sub rotina com lógica do set-point...
           //... mínimo;
sp2_max(); //Chama sub rotina com lógica do set-point...
           //... máximo;
valida_ajuste(); //Verificar se o ajuste mínimo está maior que...
                //... o máximo;

pontaDeProva(); //Chama sub rotina para medida da resistência;

rele_1(); //Chama sub rotina do relé 1;
rele_2(); //Chama sub rotina do relé 2;
} //Fecha loop infinito;
} //Fecha rotina principal;
```

```
//***** FIM *****/
```