



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR PAU DOS FERROS - CMPF
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

WADLEY KELVY COUTINHO MOURA

**PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA ENSAIO MECÂNICO A
TRAÇÃO EM MATERIAIS**

PAU DOS FERROS

2019

WADLEY KELVY COUTINHO MOURA

**PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA ENSAIO MECÂNICO A
TRAÇÃO EM MATERIAIS**

Monografia apresentado a Universidade Federal Rural do Semi – Árido – UFERSA, campus Pau dos Ferros para a obtenção do título Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Professor Dr. Cláwsio Rogério Cruz de Sousa – UFERSA.

Coorientador: Professor Me. José Wagner Cavalcanti Silva – UFERSA.

PAU DOS FERROS

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M929p Moura, Wadley Kelvy Coutinho.
PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA ENSAIO
MECÂNICO A TRAÇÃO EM MATERIAIS / Wadley Kelvy
Coutinho Moura. - 2019.
67 f. : il.

Orientador: Cláwsio Rogério Cruz de Sousa.
Coorientador: José Wagner Cavalcanti Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Protótipo. 2. Tração. 3. Tensão elétrica. 4.
Deformação axial. 5. Spline. I. Sousa, Cláwsio
Rogério Cruz de, orient. II. Silva, José Wagner
Cavalcanti, co-orient. III. Título.

WADLEY KELVY COUTINHO MOURA

**PROPOSTA DE UM PROTÓTIPO DIDÁTICO PARA ENSAIO MECÂNICO A
TRAÇÃO EM MATERIAIS**

Monografia apresentado a Universidade Federal
Rural do Semi – Árido – UFERSA, campus Pau
dos Ferros para a obtenção do título Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 20 / 03 / 2019

BANCA EXAMINADORA

Cláudio Rogério Cruz de Sousa

Prof. Dr. Cláudio Rogério Cruz de Sousa – UFERSA

Presidente

José Wagner Cavalcanti Silva

Prof. Me. José Wagner Cavalcanti Silva - UFERSA

Primerio Membro

Jennef Carlos Tavares

Prof. Bel. Jennef Carlos Tavares – UFERSA

Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me permitir chegar até aqui se fazendo onisciente, onipotente e onipresente na minha vida, em diversas situações Sua destra operou sobre mim.

Agradeço aos meu pais, Lázaro Rodrigues Moura e Kátia Silvana Coutinho por todo amor que me destes, aporte financeiro, pela morada e pelas vestes que tenho, são minha rocha e fortaleza e a quem levo de exemplos para vida. Amo vocês! Não tem preço no mundo que pague o vocês já fizeram por mim. Aos meus irmãos Wane Kelly e Warley Célio por todo carinho e apoio nas decisões tomadas por mim até hoje.

A minha querida companheira Vitória Régia, tenho que agradecer pelo amor e pela paciência que tem por mim, mesmo longe um do outro suporta todas as dificuldades de ser a mãe do meu filho. Obrigada meu amor por esse lindo presente que gerastes em seu ventre, eu te amo, minha querida.

Ao meu filho, Lorenzo Gabriel, lhe dedico esse trabalho todo o meu amor, tem sido o meu incentivo de continuar batalhando por uma vida melhor, onde você me dá forças com seu lindo sorriso banguela, com o seu cheirinho e com seu jeito esperto em aprender as coisas. Papai morre de saudades quando passa dias sem lhe ver, por essas e outras coisas, quando você ler esse trabalho, lembre-se tudo isso foi por você, te amo meu Lôlo.

Aos meus amigos que me apoiam e com quem posso contar para o que der e vier, agradeço a vocês pela amizade e por sempre me socorrerem quando preciso, Vinicius Lopes e Wállison André, Igor Ramon.

Agradeço ao meu coorientador José Wagner por todo empenho aplicado para com que este trabalho desse certo, pelas ideias, pelas tardes perdidas no laboratório comigo, somente agradecer é muito pouco, muito obrigado professor!

Ao meu orientador Cláwsio Rogério, por ter germinado essa ideia desde quando fui seu aluno em Resistência dos Materiais I, obrigado pela confiança em ser seu orientando e pela parceria entre nós adquirido na minha jornada acadêmica, obrigado mestre!

Agradeço a UFERSA por proporcionar minha formação acadêmica, a todo corpo docente do Campus Pau dos Ferros, obrigado, cada um de vocês tem um pedaço para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a proposta de desenvolvimento e construção de um protótipo didático para o ensaio de tração em materiais com o objetivo facilitar o ensino – aprendizagem em disciplinas de graduação e nível técnico, sendo utilizado em sua construção materiais disponíveis e de fácil obtenção. Foram realizadas pesquisas bibliográficas de como seria o melhor método construtivos diante dos recursos materiais disponíveis, dentro desses parâmetros foi escolhido um modelo de simples construção e fácil manipulação. Utilizou-se um sensor óptico para determinar a variação da tensão elétrica (V), junto com o alongamento axial obtidas com paquímetro digital em corpos de prova padronizado em polipropileno (PP). Com os resultados pode-se realizar o método de *spline* em um *software* matemático para a plotagem de um gráfico característico, onde realizou-se uma análise qualitativa dos resultados. Com isso instiga os alunos a interpretação de gráficos em diversas situações comuns em análises e realizando a consideração de fatores construtivos do dispositivo que acabaram influenciando nos resultados de forma direta e indireta.

PALAVRAS CHAVES: Protótipo. Tração. Tensão elétrica. Deformação axial. *Spline*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tensão unidimensional	14
Figura 2: Alongamento de uma barra cilíndrica de uma matéria metálica submetido a carga de tração uniaxial.....	15
Figura 3: Máquina de Ensaio universal EMIC	16
Figura 4: Corpos de prova padronizados.....	17
Figura 5: Esquema básico da realização de ensaio de tração	18
Figura 6: Gráfico tensão – deformação junto com o comportamento de corpo de prova	19
Figura 7: Gráfico da zona elástica - plástica	20
Figura 8: Gráfico tensão-deformação encontrado em alguns aços com o limite de escoamento descontínuo.....	21
Figura 9: Extensômetro simples da Vishay.....	22
Figura 10: Detalhe construtivo do TDVL	23
Figura 11: Gráfico da tensão de saída em função da posição do núcleo móvel.....	23
Figura 12: Potenciômetro linear	24
Figura 13: Gráfico do potenciômetro linear	25
Figura 14: Triangulação e detecção do feixe de luz	25
Figura 15: Gráfico do sensor de distância Sharp GP2Y0A21K.....	26
Figura 16: Metodologia da pesquisa	27
Figura 17: Suporte das pontes	28
Figura 18: Viga de chapa de aço com perfil “U”	30
Figura 19: Peças cortadas e perfuras em seu centro	30
Figura 20: Croqui da vista frontal e superior do detalhe construtivo da morsa	32
Figura 21: Dimensões utilizadas (mm) ¹	32
Figura 22: Morsa fixa no interior da viga de perfil “U”	33
Figura 23: Detalhes construtivos.....	34
Figura 24: Viga de sustentação da plataforma	35
Figura 25: Corpos de prova (a), sistema de fixação do corpo (b)	36
Figura 26: Cano de esgoto em PVC DN 150	38
Figura 27: Câmara e fundo recortados	38
Figura 28: Detalhes construtivo	40
Figura 29: Sistema construtivo da linha guia	41

Figura 30: Elemento de fixação da extremidade superior dos raios.....	42
Figura 31: Câmara fixada sobre suporte.....	43
Figura 32: Sensor óptico reflexivo TCRT5000	43
Figura 33: Sistema de emissão e recepção do feixe luminoso	44
Figura 34: Circuitos isolados.....	45
Figura 35: Circuito 1 - LED infravermelho (emissor).....	45
Figura 37: Circuito 2 - Fototransistor (receptor)	46
Figura 38: Fios fixados nos bornes eletrônicos	47
Figura 39: Interface do Excel com o programa em execução	49
Figura 40: Interface da variação média dos pontos	49
Figura 41: Fluxograma de comunicação do processo de ensaio	50
Figura 42: Corpo de prova fixado entre as vigas.....	51
Figura 43: Protótipo montado.....	51
Figura 44: Gráfico tensão (V) X deformação (mm) (1)	54
Figura 45: Gráfico tensão (V) – deformação (mm) (2)	55
Figura 46: Interface do Excel durante o ensaio do polipropileno (2).....	56
Figura 47: Gráfico tensão (V) - deformação (X).....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Materiais utilizados no processo de fabricação mecânica	28
Tabela 2: Lista de elementos utilizados na construção do sistema de leitura.....	37
Tabela 3: Dados coletados do polipropileno (1).....	53
Tabela 4: Dados coletados do polipropileno (2).....	55
Tabela 5: Dados coletado do polipropileno negro de fumo	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS	12
1.1.1. Objetivo geral	12
1.1.2. Objetivos específico	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO E CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	13
2.2. TENSÃO	13
2.3. DEFORMAÇÃO	14
2.3.1. Deformação Normal	15
2.4. MÁQUINA DE ENSAIO UNIVERSAL	16
2.5. CORPO DE PROVA	17
2.6. ENSAIO DE TRAÇÃO	17
2.6.1. Lei de Hooke	19
2.6.2. Propriedades Mecânica dos Materiais	20
2.6.2.1. Elasticidade – plasticidade e limite de escoamento	20
2.6.2.2. Ductilidade	21
2.6.2.3. Resiliência	21
2.6.2.4. Tenacidade	21
2.7. RELAÇÃO ENTRE TENSÃO ELETRICA E DEFORMAÇÃO	22
2.7.1. Extensômetro	22
2.7.2. Transformador diferencial variável linear (TDVL)	22
2.7.3. Potenciômetro linear	24
2.7.4. Sensor de distância óptico	25
3. METODOLOGIA DA PESQUISA	27
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	27
3.2. OBTENÇÃO DO MATERIAL E DETALHES CONTRUTIVOS	28
3.2.1. Estrutura do suporte das pontes de macarrão e palitos	28
3.2.2. Plataforma de carga	29
3.2.3. Vigas do dispositivo	29
3.2.4. Morsa permanente	31
3.2.5. Viga de sustentação da plataforma	35
3.2.6. Corpos de prova	36
3.2.7. Sistema de leitura e obtenção de dados	37
3.2.7.1. Corpo da estrutura do sistema de leitura	38

3.2.7.2.	Câmara de leitura	39
3.2.7.3.	Plataforma de movimento	39
3.2.7.4.	Linha guia da plataforma.....	41
3.2.7.5.	Sensor de leitura	43
3.3.	TESTE DE EFICIÊNCIA DO SENSOR.....	47
3.3.1.	Softwares	48
3.4.	ENSAIOS.....	50
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1.	ENSAIO 1 – POLIPROPILENO (PP) (1)	53
4.2.	ENSAIO 2 - POLIPROPILENO (PP) (2)	55
4.3.	ENSAIO 3 – POLIPROPILENO NEGRO DE FUMO (PNF)	57
5.	CONCLUSÃO	59
6.	SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
	ANEXO I – VOLTÍMETRO	65

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de se conhecer o comportamento dos materiais e suas aplicações vem desde os primórdios da humanidade. Esse conhecimento para a manutenção da vida facilitando os meios de sobrevivência. Com o avanço nas pesquisas sobre os materiais, pôde-se melhorar o desempenho na utilização dos materiais como, tecidos, plásticos, vidro, fibras, ligas metálicas, polímeros, compósitos, cerâmica e biomateriais (CALLISTER, 2013).

A existência de uma infinidade de materiais e suas combinações, nos levam a um campo vasto de suas aplicações. Cada material tem suas características específicas, como físicas, químicas. Nos incube então a classificar esses materiais, mostrando suas aplicações de forma eficiente e suas limitações (VAN VLACK, 1970).

As propriedades físicas determinam o comportamento do material durante o processamento de fabricação e utilização, podendo citar algumas propriedades, mecânica, térmicas e elétrica. Pode-se citar também, as propriedades químicas, quando o material está em contato com outros materiais ou em um ambiente específico, é caracterizado pela resistência ou não a corrosão a esses ambientes (CARAM, 2000).

A economia é um dos maiores fatores que determina a utilização de determinados materiais, com o passar do tempo, o desenvolvimento de novos materiais leves e resistentes como os polímeros, revolucionou o mercado exigente dos eixos tecnológico, espacial, aeronáutico, automobilístico e alimentício (SHACKELFORD, 2008).

A aplicação dos novos materiais na maioria, são colocados em questionamento, utiliza-se de adição de aditivos ou a mistura de dois materiais diferentes com o intuito de aprimoramento dos mesmos. Materiais com vasta aplicação e de baixo custo são os preferidos do mercado, mas lembrando de suas limitações os materiais devem ser pesquisados, testados e aprimorados (PEREIRA, 2015).

Como já supracitado todo material possui características próprias, e seu conhecimento é fundamental para os produtores e consumidores, instituições de pesquisa e agências governamentais para sua aplicação de forma consciente, de acordo com Callister (2013), “Em serviço todos os materiais são expostos a estímulos externos que causam algum tipo de resposta.” Cabe o profissional identificar quais estímulos sofrido pelo material, se sofrerá esforços mecânicos de tração, compressão, torção e cisalhamento.

A facilidade dos profissionais para conhecimento das propriedades dos materiais e suas aplicações junto ao seu comportamento, está diretamente ligada a formação destes fazendo-se uma base eficiente de ensino-aprendizagem ligados ao conhecimento prático e campal. A educação de nível superior brasileira está em processo de interiorização, ou seja, as universidades que antes só tinham nos grandes centros urbanos e capitais, hoje estão mais presentes no interior dos estados brasileiros.

De acordo com Nascimento (2015, p. 62), as dificuldades com a burocratização pública e licitações, pregões motivando morosidade e equipamentos que não atendam a todos os cursos oferecidos pela universidade, dificultando o ensino de algumas disciplinas deixando a aprendizagem dos futuros profissionais com uma certa deficiência tanto de conhecimento prático.

Para Sousa et.al. (2016), a educação brasileira é marcada por muitas dificuldades, no que se refere ao processo pedagógico de ensino-aprendizagem fazendo assim o aluno como um mero receptor de informações. Evidencia-se assim a importância de desenvolver a habilidade dos discentes em atividades extracurriculares, faz-se necessário o desenvolvimento de equipamentos essenciais para a realização de atividades relacionadas as componentes curriculares.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

- Desenvolver um protótipo de baixo custo para a realização de ensaios de tração mecânica para o ensino-aprendizagem em aulas práticas, realizando a plotagem de gráficos e análises qualitativas.

1.1.2. Objetivos específico

- Verificar a relação entre tensão elétrica e deformação;
- Realizar ensaios de tração mecânica em polímeros;
- Plotar o gráfico tensão elétrica (V) X deformação (mm)
- Realizar uma análise qualitativa dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. INTRODUÇÃO AO ESTUDO E CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS

Os profissionais que trabalham diretamente com a qualidade e a resistência dos seus produtos devem ter um profundo conhecimento dos materiais que está a sua disposição bem como as propriedades e comportamento durante solicitações externas , ao fazer sua seleção, o profissional deve levar em conta propriedades tais como resistência mecânica, condutividade térmica e/ou elétrica, densidade, dentre outras (VAN VLACK, 1970).

O que deve levar a seleção dos materiais é o seu comportamento durante o processamento e o uso, onde a plasticidade, usinabilidade, estabilidade elétrica, resistência química e fator de custo – benefício, são parâmetros essenciais para a seleção (VAN VLACK, 1970).

Os materiais de uma forma geral são constituídos por uma forma química e caracterizado por estruturas de arranjo atômicos, a ciência dos materiais concentra-se nos fundamentos científicos e da relação entre a síntese e processamentos, microestruturas e propriedades dos materiais. A engenharia dos materiais por sua vez, é responsável por transformar esses materiais em dispositivos ou estruturas úteis (ASKELAND & WRIGHT, 2014).

A classificação dos materiais de acordo com Askeland & Wright (2014), são as seguintes: metais e ligas, cerâmicas, vidros e vitrocerâmicas, polímeros, semicondutores e materiais compósitos e biomateriais.

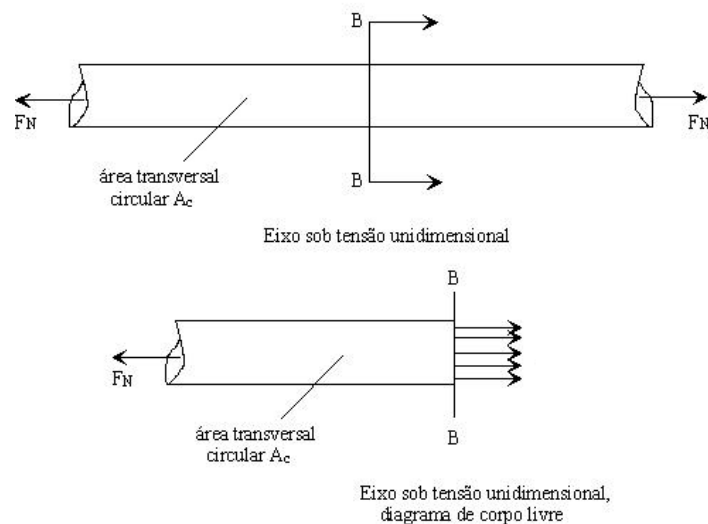
As propriedades mecânicas dos materiais e durabilidade é o grande fator de escolha, aplicação estruturais em condição de serviços. É essencial saber o quanto de carga o corpo suporta, como a tensão limite, e o alongamento em reação a tensão aplicada, definir se este será elástico ou plástico (SHACKELFORD, 2008).

Para a realização dos ensaios mecânicos é necessário o conhecimento do que ocorre nos objetos analisados durante a aplicação de cargas, como essa força são distribuídas no interior bem como a direção de aplicações, determinando as tensões na área analisada do elemento bem como a classificação do tipo de esforço que está sendo realizado.

2.2. TENSÃO

Uma das mais importantes análises nos problemas de resistência dos materiais é poder determinar a força e os momentos resultantes que agem no interior dos materiais quando submetidos a cargas externas. Utilizado materiais de corpo contínuo pode-se supor uma área seccionada onde é possível observar os efeitos resultantes da distribuição de força sobre pequenas áreas particionadas, obter essa distribuição de cargas internas é de suma importância em resistência dos materiais (HIBBELER, 2010). A figura abaixo exemplifica o comportamento da tensão em um corpo cilíndrico:

Figura 1: Tensão unidimensional



Fonte: http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Deformacao_Torque.htm

Então Askeland & Wrigth (2014), definem que a tensão como carga mecânica que age na unidade de área onde se foi aplicado, obtendo-se pela seguinte equação:

Equação 1 – tensão

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Onde:

σ = tensão normal média em qualquer ponto da área transversal

P = Força normal interna resultante

A_0 = área transversal inicial

2.3. DEFORMAÇÃO

O corpo é submetido a uma força externa ou variação de calor, esse se deforma, ou seja, ocorre variação no seu comprimento. A deformação inclui tanto variações de comprimento quanto a variações nas relações angulares do corpo (CRAIG JR, 2015).

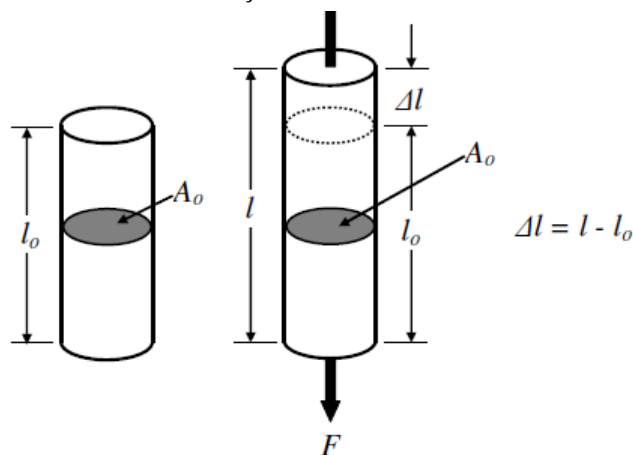
De acordo com Hibbeler (2010) as deformações do corpo podem ser altamente visíveis ou praticamente imperceptíveis fazendo-se assim a necessidade do uso de aparelhos precisos para o aferimento das medidas. Hibbeler (2010) ainda fala que, a deformação do corpo não será de uniforme em todo seu volume e que a geometria de seguimentos de retas no interior de corpo pode variar ao longo do seu comprimento.

O conhecimento sobre o comportamento do corpo de prova em relação a carga aplicada e extrair dados de aferições de medidas de comprimento, afirmando assim Hibbeler (2010) que, as medições de alongamentos são experimentais, sendo obtidas, podem ser relacionadas com cargas aplicadas, ou tensões que agem no interior do corpo analisado.

2.3.1. Deformação Normal

O alongamento ou contração do seguimento de reta por unidade de comprimento, ou seja, pode ser definido de forma específica como a diferença do comprimento inicial e final do corpo, pela razão do comprimento inicial, como pode-se ser visualizado na figura abaixo. (HIBBELER, 2010).

Figura 2: Alongamento de uma barra cilíndrica de uma matéria metálico submetido a carga de tração uniaxial.



Fonte: <http://www.fem.unicamp.br/~caram/ensino.htm>

A deformação é definida de acordo com a seguinte expressão:

Equação 2 - Deformação

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Onde:

l_0 = comprimento original do corpo antes da aplicação da carga;

l_i = comprimento instantâneo;

Δl = variação de comprimento a um dado instante.

2.4. MÁQUINA DE ENSAIO UNIVERSAL

A máquina de ensaio universal é um dispositivo eletromecânico de ensaios laboratoriais de alta precisão, utilizadas em indústrias e em instituições de ensino técnico e superior. Nela são realizados ensaios de caráter destrutivos e acompanhado por sensores afim de se obter resultados de comportamento dos corpos analisados.

Figura 3: Máquina de Ensaio universal EMIC



Fonte: <http://www.emic.com.br>

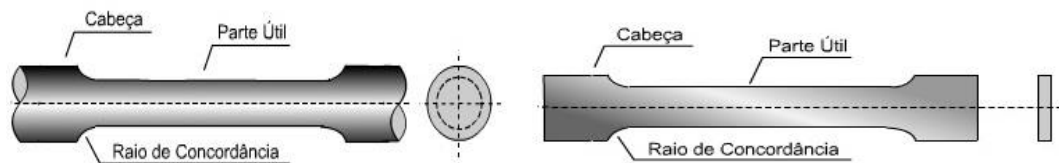
Nestas máquinas são realizadas a maioria dos ensaios essenciais tais como tração, compressão, flexão, cisalhamento. Os materiais ensaiados nesses equipamentos dependem do seu porte de carga, nesse caso, existem vários modelos e tamanhos de equipamento, essas

máquinas são de alto padrão e de acessórios caros, custando assim um equipamento deste de pequeno porte em aproximadamente R\$ 125.000,00.

2.5. CORPO DE PROVA

De acordo com a NBR 6152:1992, é necessária uma amostra do material que se deseja analisar, portanto, caracteriza-se corpo de prova o material que possui as mesmas propriedades química, física e mecânica do material analisado. O corpo de prova é obtido por usinagem de uma amostra do material, pode-se ser também por forjamento e fundição e para o caso de polímeros pode ser confeccionado por injeção plástica em matrizes. O corpo de prova analisado deve obedecer a dimensões e geometrias básicas, podendo sua seção transversal ser circular, quadrada, retangular, anelar e em casos especiais, de alguma outra forma.

Figura 4: Corpos de prova padronizados



Fonte: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6543-corpos-de-prova-para-o-ensaio-de-tracao#.XDuhLVVKjIU, (adaptada).

Independente do perfil elas devem apresentar características básicas que são a cabeça, parte útil e raio de concordância. Sendo esta primeira responsável pela área em que as pinças da máquina de ensaio serão fixadas, na seguinte é a parte em que se é analisada as variações de comprimento e largura e por últimos tem-se o raio de concordância que tem a finalidade de evitar que a falha ou rompimento do corpo ocorra fora da parte útil.

2.6. ENSAIO DE TRAÇÃO

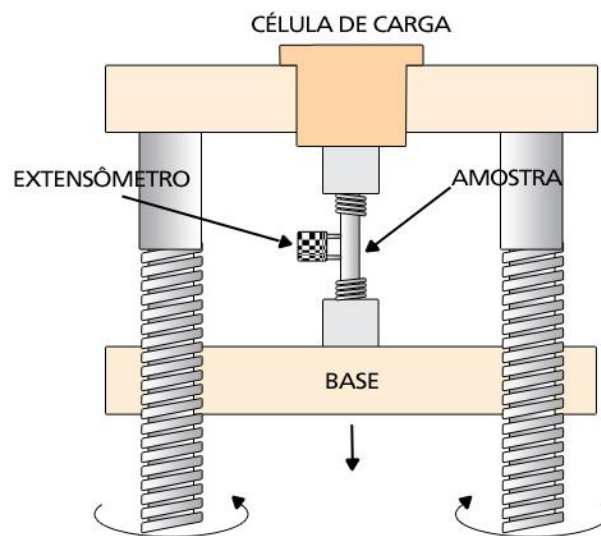
A resistência de um material depende da sua capacidade de suportar uma carga sem deformação excessiva ou ruptura. Cada material tem sua capacidade de características inerentes, que são determinadas através de métodos experimentais (HIBBELER, 2010).

As propriedades mecânicas dos materiais podem ser determinadas através de ensaios mecânicos, na maioria das vezes são ensaios destrutivos, onde acarreta a destruição do corpo analisado e sua inutilização posterior (PEREIRA, 2015, *apud* SOUSA, 1982).

Existem diversos tipos de ensaios mecânicos entre eles tem-se o ensaio de tração e compressão, muitas propriedades são obtidas através destes. Nesses ensaios, um corpo de prova de dimensões padronizadas e normatizadas é submetido a cargas uniaxial com o objetivo de deformá-lo na direção da atuação da força (PEREIRA, 2015 *apud* SHACKELFORD, 2008).

O ensaio de tração é realizado através de máquinas de ensaios laboratoriais, a máquina possui um par de garras para ser colocado o corpo de prova, dependendo do equipamento faz-se necessário a utilização de acessórios como o extensômetro que mede o alongamento durante o carregamento do processo de tração. Para que os resultados obtidos sejam comparáveis, as dimensões dos corpos de prova e a aplicação de cargas devem ser padronizados (GERE, 2014).

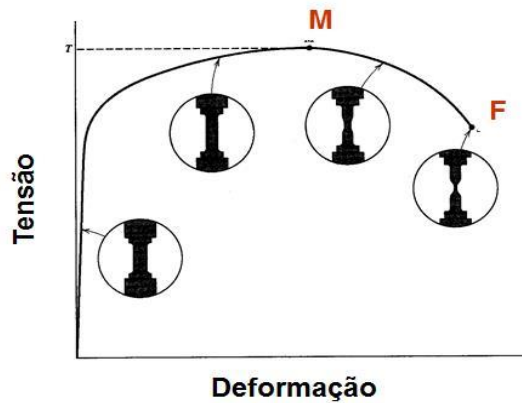
Figura 5: Esquema básico da realização de ensaio de tração



Fonte: Callister, (Adaptada, 2013).

Os ensaios dos corpos se resumem a obtenção de dados durante o processo gerando o diagrama de tensão-deformação, sendo essa a característica do comportamento específico do corpo em particular, sobre tudo, contém informações importantes das propriedades mecânica e comportamento como pode ser visto figura seguinte: (GERE, 2014).

Figura 6: Gráfico tensão – deformação junto com o comportamento de corpo de



Fonte: Calliste 2013

Da figura (6) pode-se observar as seguintes informações:

- M – Limite de resistência do material: a máxima tensão suportada por uma estrutura sob tração.
- F – Tensão de ruptura: a tensão no momento da ruptura da figura tensão-deformação.

De acordo com Gere (2014), através do gráfico ainda é possível extrair dados como limite elástico, plasticidade, endurecimento de deformação e estricção. Uma das características de cada material que é perceptível nos gráficos gerados é sua inclinação, então assim Askeland & Whight (2014) define que, a inclinação de uma curva tensão-deformação em regime de tração de forma linear define o módulo de *Young* (E) ou módulo de elasticidade do material.

2.6.1. Lei de Hooke

Gere (2014), define que, a relação linear entre tensão e deformação para uma barra em tração ou compressão simples é expressa pela equação (3):

Equação 3 – Lei de Hooke

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3)$$

Tem-se ainda para se conhecer a constante de elasticidade ou módulo de *Young* (E):

Equação 4 – Módulo de *Young*

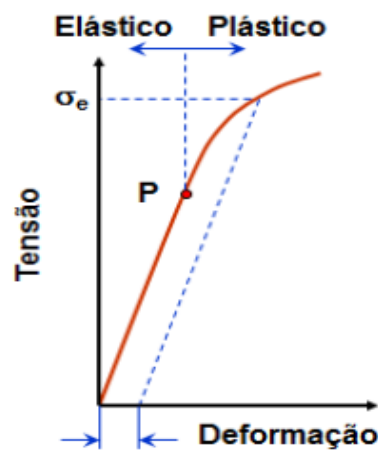
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F \cdot l_0}{A_0 \cdot \Delta l} \quad (4)$$

2.6.2. Propriedades Mecânica dos Materiais

2.6.2.1. Elasticidade – plasticidade e limite de escoamento

Quando se é posto uma carga em um material há uma variação de comprimento do mesmo, após retirado a carga o material consiga retornar ao seu comprimento inicial (l_0), pode-se então classificar como uma deformação reversível, ou seja, uma deformação elástica. Quando há uma deformação permanente após sessar a carga pode-se então dizer que houve uma deformação irreversível ou plástica (ASKELAND & WRIGHT, 2014).

Figura 7: Gráfico da zona elástica - plástica



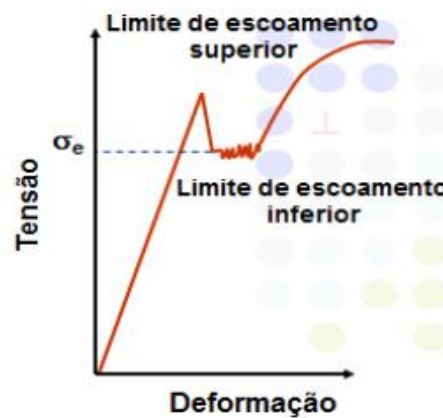
Fonte: Callister 2012

Pode-se observar na figura (7), o ponto P representa o limite proporcionalidade elástico do material iniciando a zona plástica, e a tensão de escoamento σ_e .

Limite de Escoamento representa o nível em que o material deixa de se deformar elasticamente e inicia a deformação plástica (PEREIRA, 2015). Em alguns materiais é complicado observar essa transição microscópica e ser medida com precisão. Adota-se por convenção uma linha reta é construída paralelamente à porção elástica a curva tensão deformação na figura (8), (CALLISTER, 2013).

Para materiais que não possuem uma elasticidade linear, como alguns aços e outros materiais exibem o comportamento de tensão-deformação em tração a transição elástico – plástico é bem definido e ocorre de forma abrupta (CALLISTER, 2013).

Figura 8: Gráfico tensão-deformação encontrado em alguns aços com o limite de escoamento descontínuo



Fonte: Callister 2012

2.6.2.2. Ductilidade

Ductilidade: É uma medida do grau de deformação plástica que foi suportado até sua fratura. Na compreensão do gráfico gerado é possível classificar a fragilidade do material, quando há uma pequena deformação plástica ou nenhuma deformação plástica esse material é classificado como frágil. Quando há uma grande deformação plástica no material o mesmo é classificado de dúctil, (CALLISTER, 2013).

2.6.2.3. Resiliência

Resiliência: É a capacidade do material absorver energia quando se é aplicado, posteriormente dissipar essa energia sem sofrer deformação permanente. Essa propriedade é validade no campo elástico, (CALLISTER, 2013).

2.6.2.4. Tenacidade

Tenacidade: É a capacidade do material absorver a energia antes da sua ruptura. Ou seja, toda energia de impacto aplicada ao material é absorvida, provocando uma deformação permanente chegando a sua ruptura, (CALLISTER, 2013).

2.7. RELAÇÃO ENTRE TENSÃO ELÉTRICA E DEFORMAÇÃO

Os medidores elétricos de deslocamento são cada vez mais utilizados devido a sua simplicidade de construção e facilidade de automatização, substituindo assim sistemas mecânicos e pneumáticos onde são elementos pesados e robustos (ALBERTAZI, 2008).

Os transdutores eletro analógicos segundo seu princípio de funcionamento se dividem em resistivos, indutivos e fotoelétricos.

2.7.1. Extensômetro

O extensômetro é um dispositivo elétrico-resistivo onde tem a função de medir deformações em diversos tipos de corpos. O dispositivo transforma pequenas variações nas dimensões em variações equivalentes em sua resistência elétrica. A medida converte essa deformação sofrida pelo corpo analisado em uma tensão elétrica (ANDOFATO, 2004). Existem diversos tipos de extensômetros, o mais comum é destes é da *Vishay* como pode-se ser visto na figura a baixo, este fixa fixado diretamente ao corpo analisado.

Figura 9: Extensômetro simples da Vishay

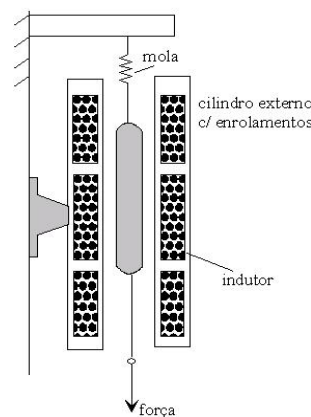


Fonte: http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Deformacao_Torque.htm

2.7.2. Transformador diferencial variável linear (TDVL)

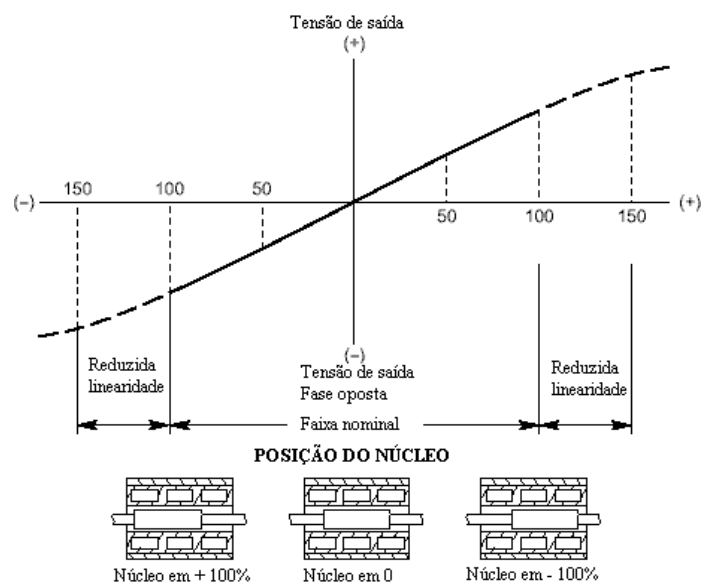
O TDLV é um dispositivo transdutor de deslocamento linear, constituído por uma série de indutores construídos em um cilindro oco, ele funciona como um transformador dentro do qual se move um núcleo magnético variando sua tensão de saída em relação a posição do núcleo magnético. O núcleo é acoplado entre as bobinas sem nenhum tipo de contato elétrico, garantido assim a esse sensor uma longa durabilidade (ARRUDA, 2012). O modelo simples desse dispositivo é esquematizado na figura abaixo:

Figura 10: Detalhe construtivo do TDVL



Fonte: http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Deformacao_Torque.htm

Figura 11: Gráfico da tensão de saída em função da posição do núcleo móvel



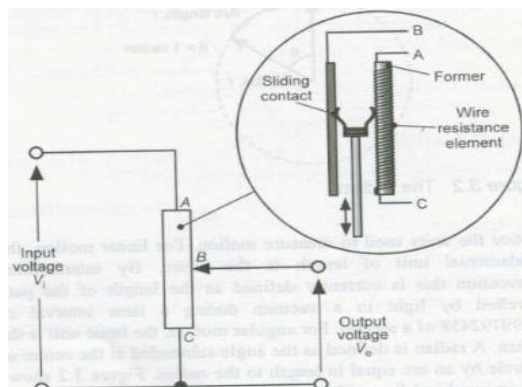
Fonte: <http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/gaspardo/Funcionamento.htm>

Na figura acima exemplifica o funcionamento do dispositivo, demonstrando a comportamento da tensão elétrica em relação a posição do núcleo magnético, formando um gráfico simétrico e linear.

2.7.3. Potenciômetro linear

O potenciômetro é um componente eletrônico na forma onde pode ter sua resistência elétrica ajustável com o deslocamento de um contato móvel. Este contato desliza ao longo do comprimento de uma resistência elétrica, o contato fica fixado a peça em que se quer obter o deslocamento, fazendo assim a medida de resistência elétrica com relação ao deslocamento realizado pelo corpo (UNICAMP, apostilha online). Com relação ao circuito da figura abaixo, aplicado uma tensão elétrica através de todo o comprimento da resistência entre os pontos A e C, a voltagem de saída é medida através de um dos polos A e C e o contato móvel, ponto B.

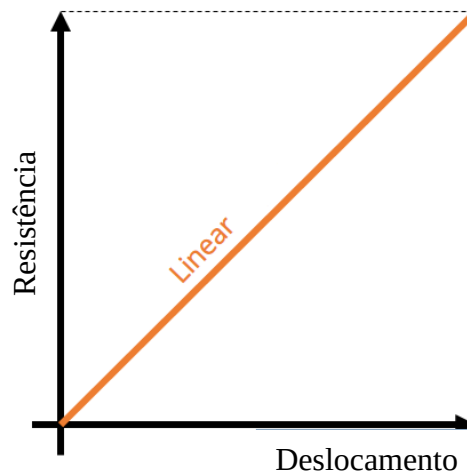
Figura 12: Potenciômetro linear



Fonte: http://www.fem.unicamp.br/~instmed/Deformacao_Torque.htm

O gráfico gerado por esse dispositivo é linear, relacionando a resistência sendo diretamente proporcional ao seu deslocamento.

Figura 13: Gráfico do potenciômetro linear

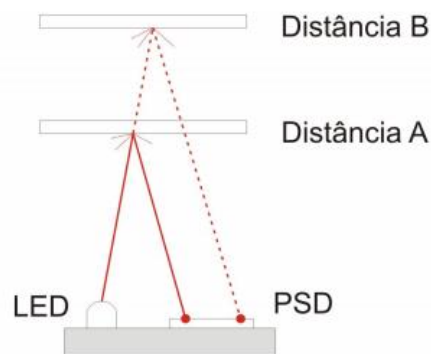


Fonte: Random Nerd Tutorials, (Adaptada, 2019)

2.7.4. Sensor de distância óptico

Os sensores ópticos utilizam raios laser ou infravermelho, tendo seu princípio a base da triangulação como observado na figura (14).

Figura 14: Triangulação e detecção do feixe de luz



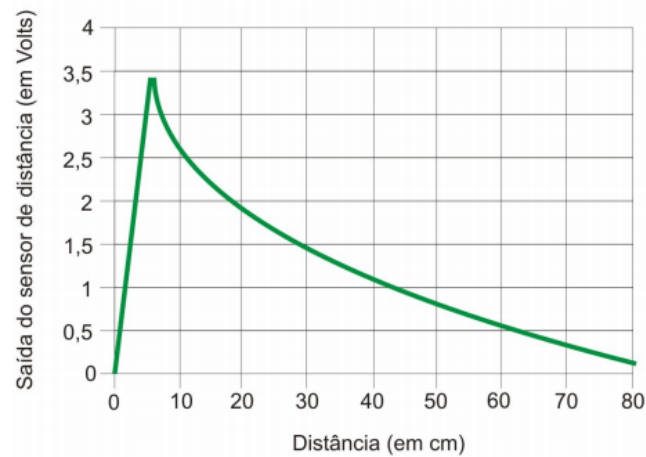
Fonte: Patsko, (2006)

Quando um feixe de luz é emitido por um diodo laser ou por um LED infravermelho sobre uma superfície ou objeto, o feixe é refletido e detectado por um dispositivo de monitoramento de posição - PSD, de acordo com a posição em que o feixe é detectado é possível obter a posição da superfície refletora (PATSKO, 2006).

Esses sensores possui uma boa linearidade e sensibilidade, sendo suas principais desvantagens a de não poder trabalhar em ambiente exposto em meio a poeira, óleo e outras impurezas.

O PSD é composto por dispositivos sensível a luz, ele é fabricado com vários fotodiodos para detectar a posição da incidência do feixe sobre o PSD, um módulo processa a informação para que na saída haja uma tensão elétrica correspondente a distância do objeto (PATSKO, 2006). Quanto maior a distância entre o sensor e a superfície de reflexão, menor será a tensão de saída no terminal do sensor, observado o gráfico abaixo:

Figura 15: Gráfico do sensor de distância Sharp GP2Y0A21K

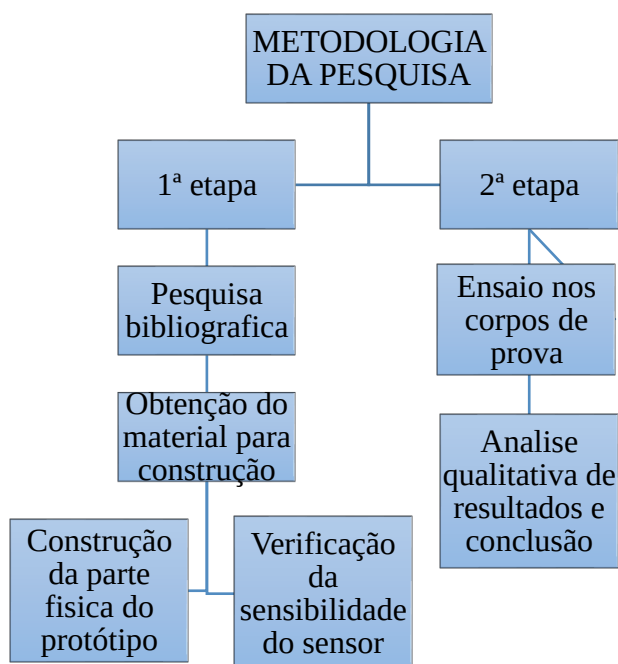


Fonte: Patsko, (2006)

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo do presente trabalho se fundamentou no desenvolvimento um protótipo para a realização de ensaio mecânico de tração e realização de uma análise qualitativa dos resultados obtidos. O fluxograma a seguir mostra as etapas para a realização e desenvolvimento deste trabalho:

Figura 16: Metodologia da pesquisa



Fonte: Autor, 2019.

Conforme o fluxograma acima, foi mostrado os processos sendo divididos em duas etapas essenciais. Na primeira etapa, elaborou-se uma fundamentação teórica por meio de pesquisas realizados em literaturas, monografias e artigos que abordam o assunto técnico. Em seguida foi-se definido os aspectos de construção levando em conta quesitos de fácil acesso a materiais para a realização da construção do protótipo e peças complementares disponível na universidade, após o recolhimento do material necessários, foi feita a montagem dos elementos. Posteriormente com a verificação da sensibilidade do sensor foi realizada a segunda etapa do processo, como ensaio e análise qualitativa de resultados.

3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Quase todo material utilizado neste trabalho é proveniente de materiais de sucatas de metalúrgicas, e de apoio o suporte metálico para ensaio de ruptura de pontes. Pertence ao grupo de Ações de Apoio à Melhoria de Ensino de Graduação – AAMEG, UFERSA – Campus Pau dos Ferros.

Alguns materiais utilizados no processo de fabricação mecânica do protótipo podem ser listados abaixo com suas respectivas quantidade e valores:

Tabela 1: Materiais utilizados no processo de fabricação mecânica

ELEMENTO/MATERIAL	QNTD	VALOR
Viga em chapa de aço perfil "U" 1/8"	50 cm	Disponibilizado
Cantoneira em chapa de aço perfil "L" 1/8"	20 cm	Disponibilizado
Chapa de aço retangular 1/8"	20 cm	Disponibilizado
Fuso roscado de aço 3/8"	1 m	R\$ 9,00
Porcas sextavada 3/8"	8 und	R\$ 2,40
Arruelas lisa 3/8"	4 und	R\$ 1,00
Eletrodo revestido E 6013	3 und	R\$ 6,00
Óleo lubrificante Multiuso	1 und	R\$ 4,80
Massa epóxi	1 und	R\$ 3,25
Cabo de aço 1/8"	1 m	Disponibilizado
Presilhas para cabo de aço	4 Und	R\$ 1,60

Fonte: Autor, (2019)

3.2. OBTENÇÃO DO MATERIAL E DETALHES CONTRUTIVOS

3.2.1. Estrutura do suporte de apoio das pontes de macarrão e palitos

O grande fator da construção do protótipo foi o suporte de apoio que requer uma a resistência considerável a aplicação de cargas, para modo de economia foi feito o reuso do suporte que foi utilizado em eventos de competições de pontes de palitos de (macarrão ou picolé) realizados na UFERSA – campus Pau dos Ferros – RN, o suporte completo constituiu em dois apoios de 1,60 m de altura por 0,8 m de comprimento, interligados por duas barras de estabilização de 1 metro de comprimento. E ainda a plataforma de carga, que tem por finalidade servir de apoio para a adição de massas manualmente, como mostrado na figura 17:

Figura 17: Suporte das pontes



Fonte: Autor, (2019)

- 1- Suporte de apoios;
- 2- Plataforma de carga.

3.2.2. Plataforma de carga

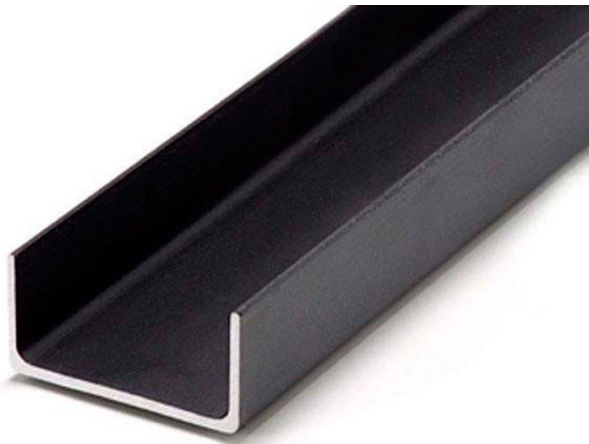
Para a aplicação das cargas nas pontes, foi projetado uma plataforma em que a base é quadrada com lado de 0,4 m, a base é soldada a dois canos de aço com 0,77 de altura interligados por um travessão onde no centro possui um vergalhão de aço CA50 de 1/2", em sua ponta é forjada um semi-olhal para sua acoplagem no sistema. No centro da plataforma possui uma haste que tem por finalidade a acomodação das anilhas de ferro-fundido de academia. A plataforma fica suspensa e é adicionado as anilhas em sequência de intervalos de 5 segundos, quando o objeto se rompe a plataforma cai sobre colchões para o amortecimento da queda.

3.2.3. Vigas do dispositivo

O aparato essencial do protótipo para a fixação do corpo de prova, este foi responsável pela função de pinças que seguram as cabeças nas extremidades do corpo de prova analisado, função semelhante à das máquinas universal de ensaios.

O material utilizado para sua confecção foi analisado e pesquisado para ser um elemento consideravelmente leve dispensando chapas maciças e grossas que fosse resistente e de fácil obtenção, obedecendo esses critérios utilizou-se uma viga de chapa de aço dobrado com perfil “U”, exemplificada na figura 18. Essa propriedade geométrica é amplamente utilizada em elementos estruturais por sua grande resistência, portanto, pode suportar bem a carga concentrada de forma perpendicular no centro do elemento.

Figura 18: Viga de chapa de aço com perfil “U”



Fonte: <http://www.castilhocomercial.com.br/viga-u-dobrada-chapa-aco>

A viga utilizada foi encontrada na sucata de uma metalúrgica, são pedaços de restos proveniente da fabricação de reboques para o transporte de garrações de água e gás em motocicletas. Na sucata foi encontrada uma peça com perfil supracitado com as características de chapa de 1/8” de espessura e 50 cm de comprimento.

Foi-se recortado duas peças de 25 cm cada, posteriormente foi realizado o desbaste dos cantos vivos em um esmeril, concluindo com a abertura de um furo em seus centros de 10 mm de diâmetro para a função de passagem das cabeças do corpo de prova pra sua fixação, como mostrado na figura a abaixo:

Figura 19: Peças cortadas e perfuras em seu centro

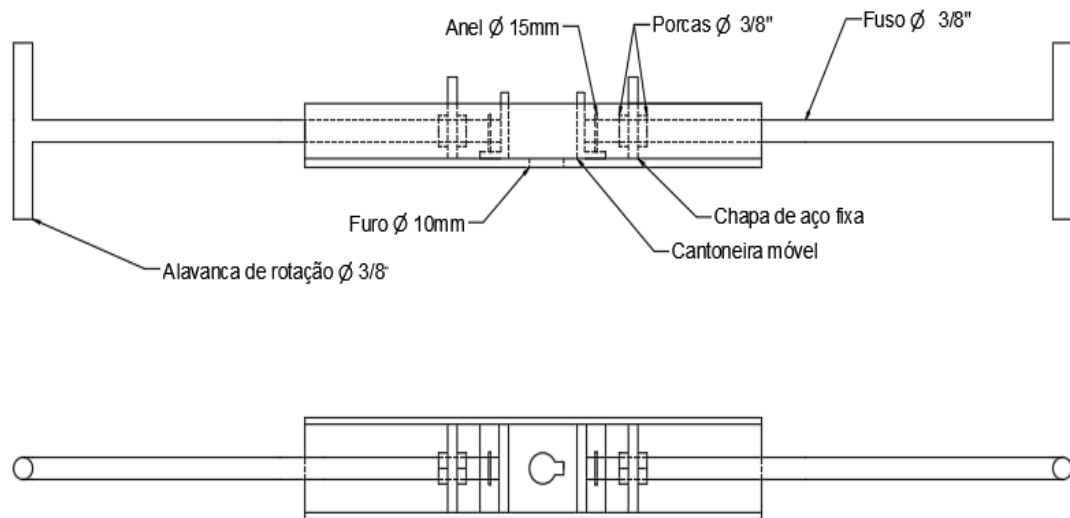


Fonte: Autor, (2019)

3.2.4. Morsa permanente

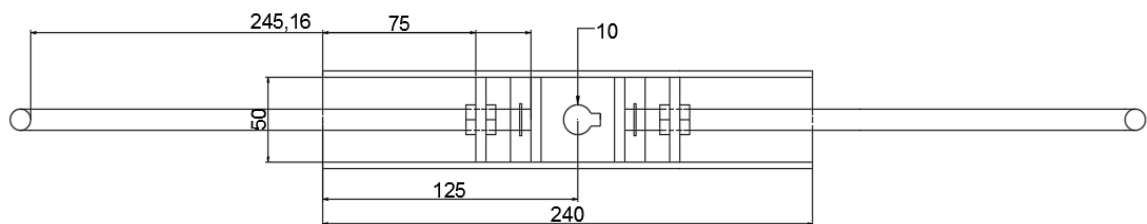
O corpo de prova necessita de uma boa fixação das suas extremidades nas peças que serviu como pinças de fixação, assim evitando o escorregamento da peça proporcionando leituras falseadas e prevenindo um possível acidente, para devido fim foi desenvolvido o sistema de morsa permanente no interior do perfil “U”. A morsa tradicional consiste em um fuso de aço quando roscado empurra uma superfície móvel contra outra superfície escareada afim de fazer pressão e fixando objetos, no protótipo foi utilizado um mecanismo semelhante, foi preciso desenvolver com que as duas superfícies da morsa fossem móveis devido ao fato em que no centro de cada viga possui um furo para permitir a entrada do corpo e a realização rotação do perfil achatado pra a fixação na morsa, vide o esquema na figura 20:

Figura 20: Croqui da vista frontal e superior do detalhe construtivo da morsa¹



Fonte: Autor, (2019)

Figura 21: Dimensões utilizadas (mm) ¹



Fonte: Autor (2019)

O protótipo demandou a produção de duas peças semelhantes, uma terá a função de sustentar o sistema de leitura de dados, bem que o outro servirá de acoplagem a plataforma de carga. Primeiramente foi adquirido uma barra rosçada de fuso com diâmetro de 3/8" com 1m de comprimento mais 8 porcas e 4 arruelas com diâmetro 3/8", posteriormente o fuso foi cortado em uma policorte em 4 partes iguais de 25 cm cada.

Adquirido ainda entre as sucatas uma cantoneira em perfil "L", de 20 cm de comprimento, a mesma foi dividida em 4 partes iguais, esta tem a função de superfície móvel do elemento, no mesmo processo foi encontrado 20 cm de uma chapa retangular foi cortada em 4 pedaços e esmerilhada até se obter um perfil com que se encaixasse dentro da chapa de perfil "U", estas

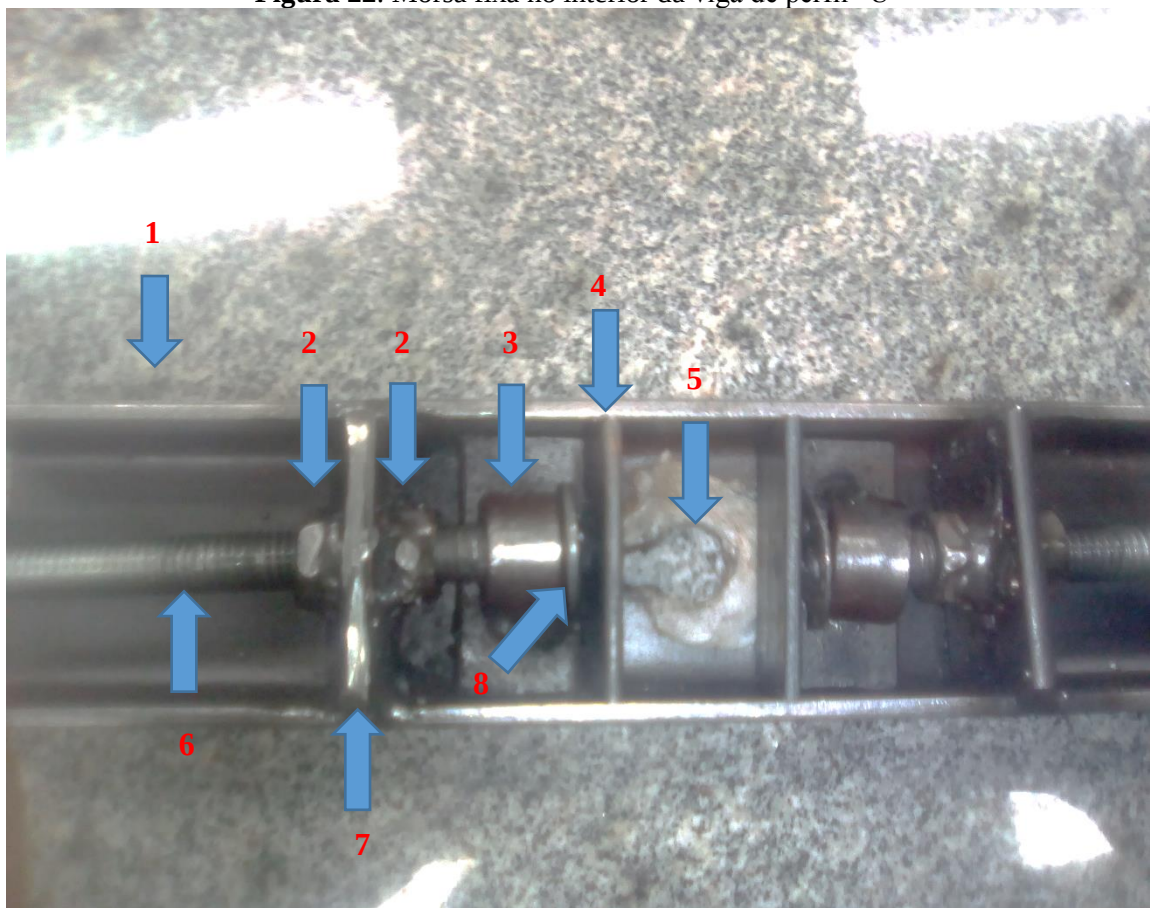
¹ Desenho do tipo croqui sem escalas.

peças tem a função de ser a parede interna onde os fusos serão acoplados. Foi realizado um furo com diâmetro de 3/8” no centro de cada chapa retangular para a soldagem a arco elétrico de um parafuso em cada superfície de modo alinhado permitindo com que o fuso ficasse com rotação leve.

As arruelas foram soldadas por arco elétrico uma unidade em uma das ponta de cada fuso, ainda sendo confeccionado 4 anéis para serem soldados nas cantoneiras servindo estas como um obstáculo pra quando o usuário rotacionar o fuso a fim de afrouxar a morsa, a cantoneira possa seguir a mesma direção de recuo.

Por fim, foi-se montado e soldado cada peça em seu lugar planejado, fazendo-se no seguinte a limpeza de escórias provenientes da soldagem e a lubrificação com óleo multiuso nos fusos e parafusos de aço, para deixa-los leves e proteger contra a oxidação.

Figura 22: Morsa fixa no interior da viga de perfil “U”



Fonte: Autor, (2019)

- 1- Viga de perfil “U”;
- 2- Porca sextavada 3/8” soldada;
- 3- Anel soldado;

- 4- Cantoneira “L” móvel;
- 5- Furo central de 10mm;
- 6- Fuso roscado 3/8”;
- 7- Chapa de aço;
- 8- Arruela lisa 3/8” soldada na ponta do fuso roscado.

Figura 23: Detalhes construtivos



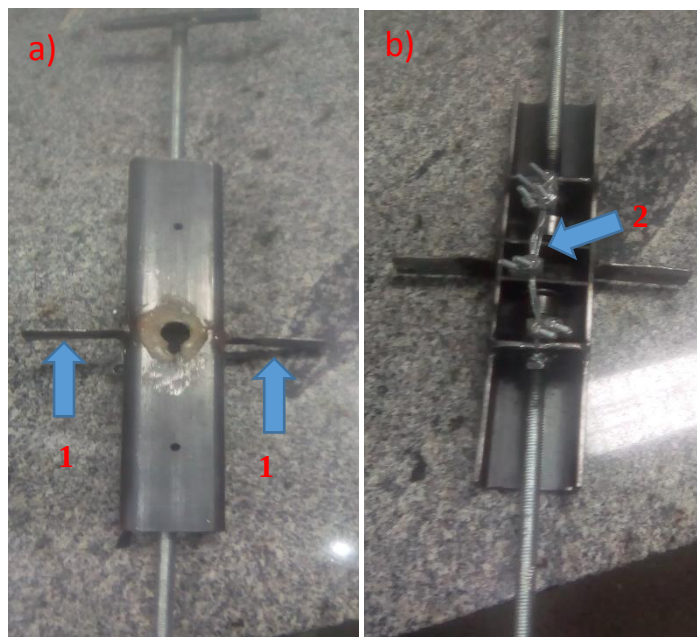
Fonte: Autor (2019)

3.2.5. Viga de sustentação da plataforma

Uma das peças produzidas teve a importância de sustentação da plataforma durante a aplicação das cargas, está possui duas hastes que serviram de ancoragem para os raios de transmissão de movimento para câmara de leitura de dados.

Primeira ação foi a realização da soldagem de duas hastes de aço reaproveitado em uma metalúrgica, as hastes foram soldadas na lateral da uma das vigas de sustentação, foi buscado serem soldadas no meio da viga pelas paredes externa, como pode ser visto na figura 24:

Figura 24: Viga de sustentação da plataforma



Fonte: Autor, (2019)

- 1- Haste de ancoramento;
- 2- Cabo de aço 1/3" com presilhas fixadas.

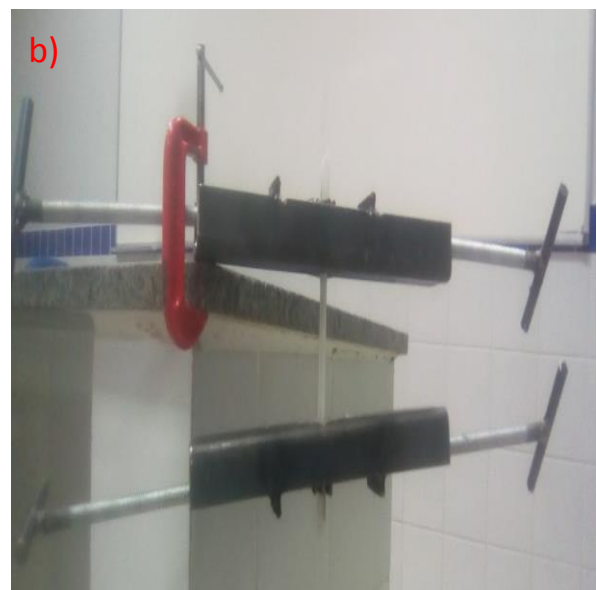
A acoplagem da plataforma na viga se dá por meio do encaixe do semi-olhal da plataforma em um cabo de aço de 3 mm posto nas chapas de aço que foram soldadas as porcas dos fusos. Foram feito um furo em cada chapa um pouco acima dos cordões de solda, foi utilizado uma broca de 3 mm, após os furos foi colocado o cabo de aço nos furos e presos por presilhas próprias para a amarração de cabos de aço, foram utilizadas 4 unidades das presilhas para garantir a boa fixação do cabo de aço, evitando o escorregamento provocando uma queda indesejada da plataforma com carga.

3.2.6. Corpos de prova

O suporte à princípio foi planejado para corpos de provas padronizados, de perfil retangular, a escolha deste perfil, se deu pela disponibilidade de algumas unidades na universidade e pela facilidade de obtenção de mais unidades caso fosse necessário, além que, os corpos em sua totalidade são polímeros com alguns exemplares de polipropileno – (PP), um dos polímeros mais presente no cotidiano, este é um termoplástico de baixo custo e larga escala de produção de embalagens para produtos alimentícios, brinquedos, ferramentas, entre outros. O segundo material utilizado é o polipropileno negro de fumo (PNF), este polímero é um polipropileno com aditivos de carbono em sua composição, este material é produzido para a utilização em ambientes mais quentes e com presença de raios UV (ultravioleta), possui uma maior resistência a tração em relação ao polipropileno (PP) comum. Para estes materiais é necessária uma aplicação de carga menor para que haja a deformação elástica, promovendo segurança e uma menor danificação a plataforma de carga.

Uma utilidade destes materiais para este trabalho é a facilidade de se visualizar a deformação do corpo em todas suas etapas característica. A utilização de corpos de prova metálicos em sua maioria o deslocamento em relação a carga aplicada é imperceptível *in loco* principalmente durante a zona elástica. Na figura (25-a) mostra os corpos utilizados, o corpo claro é polipropileno (PP) como o cinza é o polipropileno negro de fumo (PNF). Na figura (25-b), mostra a posição em que o corpo foi ensaiado.

Figura 25: Corpos de prova (a), sistema de fixação do corpo (b)



Fonte: Autor, (2019)

3.2.7. Sistema de leitura e obtenção de dados

Para a realização da leitura da deformação do corpo, optou-se a utilização de um sistema de leitura simples reaproveitando objetos de fácil obtenção e baixo custo, muito dos materiais necessários pode-se ser encontrado em casas de construção, laboratórios de física das universidades e eletrônicas. O sistema irá substituir a utilização de extensômetros, TDVL e potenciômetro linear, que são que fixado ao corpo de prova ou nas células de cargas durante ensaios mecânicos em máquinas universal de ensaio, assim obtendo a deformação do corpo e tensão elétrica (V) durante o processo de ensaio até a fase de rompimento.

Por não dispormos de tais dispositivo, foi pensado em um sistema de leitura óptico que conseguisse obter a variação da tensão elétrica com deformação do corpo durante o ensaio de forma aproximada, tendo assim a mesma funcionalidade dos dispositivos acima citados. A relação dos materiais utilizados nessa parte pode ser vista na tabela (2), bem como seus respectivos valores:

Tabela 2: Lista de elementos utilizados na construção do sistema de leitura

ELEMENTO/MATERIAL	QNTD	VALOR
Cano PVC DN 150 de esgoto	50 cm	R\$ 11,00
Resistor 220 Ω	1 und	Disponibilizado
Resistor 10K Ω	1 und	Disponibilizado
Espelho	7 cm x 7 cm	R\$ 2,00
Sensor óptico reflexivo TCRT5000	1 und	Disponibilizado
Bastão de cola quente	6 und	R\$ 3,20
Raios de bicicleta fino	5 und	R\$ 1,50
Roldanas/Polias - Kit de Arete	4 und	Disponibilizado
Fios de cabo USB	8 m	Disponibilizado
Bornes para fios eletrônicos	4 und	R\$ 4,00
Spray - Preto Fosco	1 und	R\$ 15,00
Madeira MDF	15 cm x 10 cm	R\$ 10,00

Fonte: Autor (2019)

3.2.7.1. Corpo da estrutura do sistema de leitura

A estrutura foi montada com uma geometria simples para facilitar a fixação do sistema de leitura na estrutura de fixação do corpo de prova, vale salientar que, o sistema fez a leitura sem está em contato diretamente com o corpo analisado, e sim estando ligado diretamente ao sistema de fixação do corpo por meio de raios de transmissão , portanto, o sistema registra a leitura do deslocamento em relação as duas vigas em chapas de aço que foi diretamente proporcional a deformação tendo assim a variação da tensão elétrica do sensor em relação ao corpo durante o processo de ensaio a tração.

Pensando na facilidade de obtenção e por ser um material translúcido, foi utilizado um cano de esgoto DN 150 (diâmetro nominal), o cano propicia uma câmara de movimento livre com um vasto espaço para acomodação dos fios no interior do mesmo.

Figura 26: Cano de esgoto em PVC DN 150

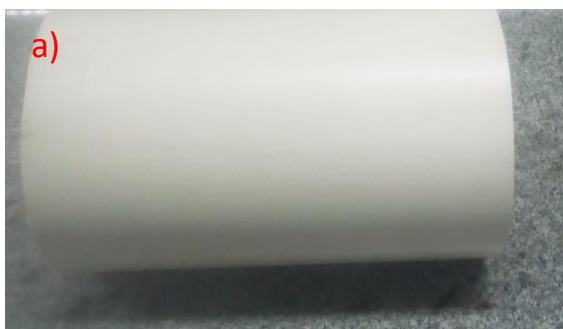


Fonte: Autor, (2019).

As dimensões características são:

- Diâmetro interno do cano: 148 mm;
- Altura medida da câmara a ser cortada: 240 mm.

Figura 27: Câmara e fundo recortados



Fonte: Autor (2019)

Como mostrado na figura acima (27-a) o cano com altura de 240 mm, onde foi-se cortado com arco de serra metálico. Na figura (27-b), foi-se cortado um pedaço de madeira que serviu de fundo para a câmara, o processo de corte ocorreu primeiramente marcando o diâmetro externo do cano na madeira e posteriormente realizado o corte com o arco de serra.

3.2.7.2. Câmara de leitura

A câmara de leitura foi desenvolvida com o objetivo de proteção e acomodação do sensor utilizado e protegendo-o de fatores ambientais nas coletas de dados. A câmara no total tem 240 mm de altura, do fundo a borda superior. Espaço este que serviu de deslocamento para o sensor de distância que será fixado uma plataforma quadrada em MDF com 7,0 cm de lado. O material das paredes do cano é translúcido, porém o fototransistor responde a estímulos da luz ambiente e a luz do emissor infravermelho, onde pode ser refletida de forma aleatória pelo interior da câmara, dependendo da sua posição, para isso, as paredes interna da câmara foram pintada de preto fosco com função de absorver maior parte da radiação no interior, evitando assim leituras de dados equivocadas.

3.2.7.3. Plataforma de movimento

O movimento na vertical da plataforma em MDF é diretamente ligado a deformação do corpo de prova analisado, esta plataforma é composta por quatro roldanas/polias que ficam encaixadas por seus sucros nas laterais em dois raios de bicicleta, fixados diretamente no fundo da câmara, realizando a função de linha guia, facilitando a movimentação de modo vertical impedindo a rotação e inclinação da plataforma evitando assim medidas indesejadas.

Figura 28: Detalhes construtivo

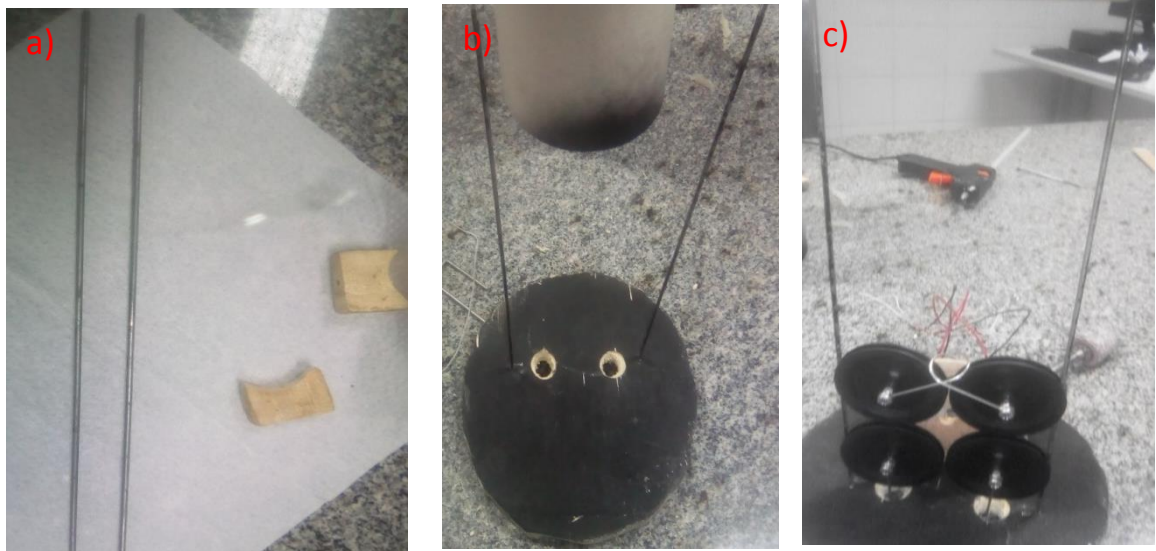
Na figura (28-a), mostra a plataforma já com as roldanas no local, o processo de montagem consistiu em, primeiro foi definido os pontos a ser perfurados fazendo a medida do diâmetro deixando uma folga entre as roldanas evitando o contato entre as mesmas, em seguida foi selecionado a broca com o mesmo diâmetro do parafuso da roldana para evitar o uso de porcas e arruelas fazendo assim uma redução da massa do sistema e otimização de trabalho durante a montagem.

As polias utilizadas neste trabalho pertencem a UFERSA onde fazem parte do laboratório de Mecânica Clássica, estas são usadas em experimentos em combinações de polias e massas. As mesmas possuem um diâmetro de 45 mm, em seu centro possui um parafuso fixo com ganchos visto na figura, sua lateral possui um suco com função de acomodar cordas utilizadas em experimentos, portanto, podemos utilizar na plataforma utilizando todas suas características. Os ganchos foram de grande importância tendo essa a função de se ancoragem para os raios de transmissão (28-b), sendo esta que ficará fixa com a viga móvel.

3.2.7.4. Linha guia da plataforma

Como já supracitado no tópico anterior, foi necessário com que a plataforma ficasse alinhado e firme, evitando movimentos indesejados, onde o sensor é sensível a variação não perpendicular à superfície de reflexão, observou-se a necessidade de uma linha guia, vide figura 29:

Figura 29: Sistema construtivo da linha guia



Fonte: Autor, (2019)

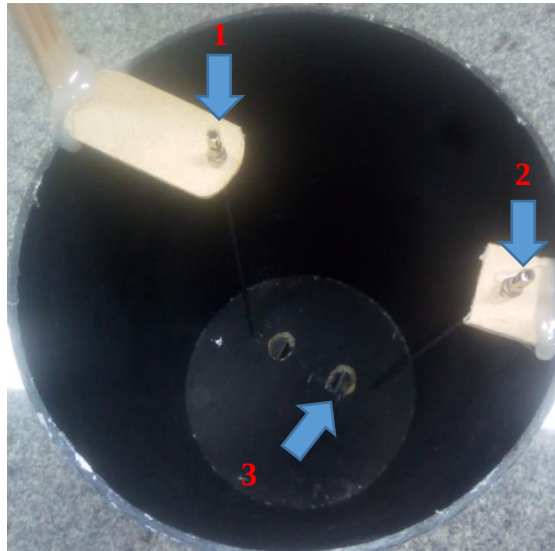
Na figura (29-a) mostra os materiais utilizados para montagem de uma linha guia, sendo dois pedaços de madeira que serviram de calços de apoio para os raios de bicicleta, facilitando a colagem pelo lado externo da madeira no fundo da câmara.

Primeiro foram cortados dois pedaços de madeira qualquer pequeno, lixado em meia lua em um dos lados, posteriormente foi realizado dois furos com o mesmo diâmetro dos raios, sequentemente foi inserido a extremidade roscada do raio no lado da meia lua e puxado até que a extremidade curvada ficasse firme, por fim, a meia lua foi preenchida com cola quente afim de evitar a rotação do raio em seu eixo.

Na sequência, foram realizado quatro furos na madeira que serviu de fundo para a câmara, sendo dois furos para a passagem dos raios como mostrado na figura (29-b) que serviram de guia, e os outros dois furos maiores para a passagem dos raios de transmissão que ficará preso aos ganchos das roldanas, após realizado esse processo, foi realizado a colagem dos calços no fundo da câmara, esperou-se um momento para a cola se solidificar. Por fim foi realizada a colagem do fundo no cano com cola quente.

Nas extremidades dos raios foi necessário por elementos sólido de fixação vistos na figura (30), para fim de alinhar os raios e evitar a abertura quando a plataforma móvel se mover. Para tanto foi recortado dois pedaços de MDF com geometria que se encaixasse na parede do cano, feito em sequência dois furos no diâmetro dos raios e encaixando, por fim foi colado com cola quente na posição de melhor adequação para mente-los de forma perpendicular.

Figura 30: Elemento de fixação da extremidade superior dos raios



Fonte: Autor (2019)

- 1- Madeira MDF;
- 2- Raio de bicicleta (Guias);
- 3- Furo para passagem dos raios de transmissão.

Com a conclusão da montagem da linha guia, foi realizada a montagem da câmara sobre um dos suportes que serviu de pinça de fixação dos corpos de prova. A fixação da câmara sobre o suporte foi realizada com a aplicação de massa epóxi, sendo necessária uma espera para secagem da massa por 24 horas para continuar o processo de montagem como pode ser visto na figura 31.

Figura 31: Câmara fixada sobre suporte



Fonte: Autor, (2019)

3.2.7.5. Sensor de leitura

O sensor utilizado é um dos componentes mais importantes do protótipo, ele irá realizar a leitura da deformação do corpo de prova sem a necessidade do uso de transdutores complexos. É necessário que seja um dispositivo que consiga ser sensível ao deslocamento, visto que, dependendo da constante elástica de um corpo de prova a deformação é imperceptível ao olho humano e ao sensor, com variação de grandeza em poucos milímetros (mm).

O dispositivo utilizado neste trabalho foi o sensor óptico reflexivo infravermelho TCRT5000 mostrado na figura (32), por motivos de disponibilidade, facilidade na montagem, pequeno porte e massa, programação e circuitos simples, principalmente sensível ao deslocamento axial.

Figura 32: Sensor óptico reflexivo TCRT5000



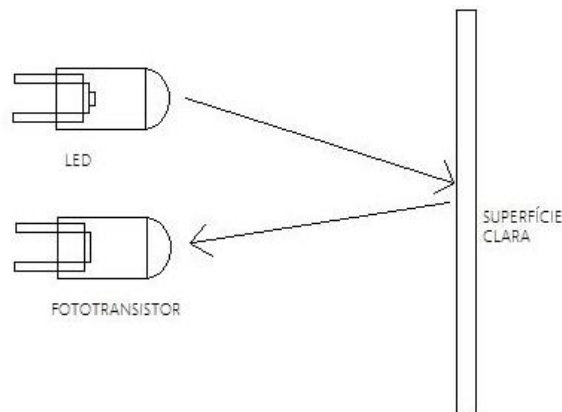
Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000/>

Especificações técnicas:

- Modelo: TCRT5000
- Tipo do detector: Fototransistor
- Dimensões: 10,2mm x 5.8mm x 7,0 mm
- Máxima detecção: 25mm

O funcionamento básico desse sensor constitui na emissão de feixe de luz por um LED infravermelho (emissor), a luz é refletida por meio de uma superfície clara ou espelhada, incidindo boa parte do feixe sobre o fototransistor (receptor), como exemplificado na figura abaixo:

Figura 33: Sistema de emissão e recepção do feixe luminoso



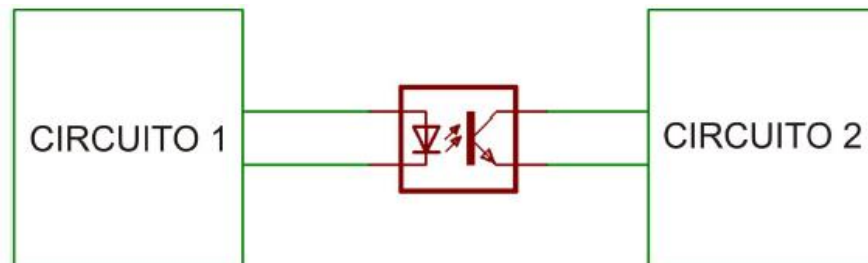
Fonte: <http://p3r3.com/tutoriais/motores-e-sensores-2/>

O fototransistor é sensível a luz ambiente, por esse motivo foi realizada a construção da câmara como já supracitado, sendo feita a pintura interna de preto fosco, afim de evitar a reflexão de luz infravermelha pelo sistema causando variações na leitura da tensão elétrica sobre o fototransistor.

Para superfície de reflexão do feixe luminoso foi optado pela utilização de um espelho com aproximadamente 7cm x 7cm, o mesmo foi posto no fundo da câmara em posição de reflexão do sensor óptico.

Este sensor é constituído por um conjunto de par óptico, formados por dois componentes independentes, consequentemente seus circuitos elétricos não possuem nenhum tipo de contato entre si, como exemplificado na figura 34:

Figura 34: Circuitos isolados

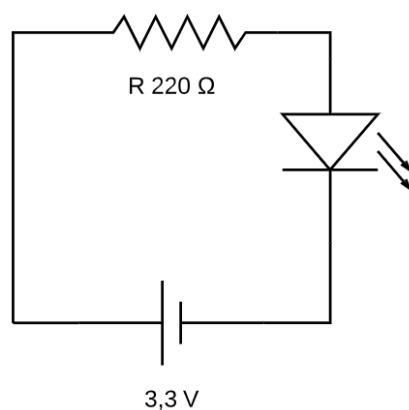


Fonte: Patsko, (2006)

O circuito 1 representa o isolamento independente do LED infravermelho, na mesma analogia, segue o circuito 2 para o fototransistor.

No sensor utilizado neste trabalho foi realizado a montagem de dois circuitos independentes e alimentação elétrica diferentes. O circuito 1 do LED infravermelho é alimentado por tensão elétrica de 3,3V, ligado em série com o resistor de 220 Ω , com essa característica o circuito mantém um intenso feixe de luz infravermelho constante, o circuito (1) pode ser visualizado abaixo:

Figura 35: Circuito 1 - LED infravermelho (emissor)

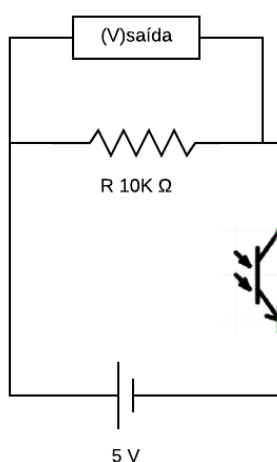


Fonte: Autor, (2019)

Para o circuito 2 do fototransistor, foi feita a utilização de um resistor de $10K \Omega$, para tanto o circuito é alimentado por uma tensão elétrica de 5V, o circuito sofre variação da corrente de acordo com o nível de intensidade da reflexão de luz infravermelho sobre o fototransistor.

Com a variação da corrente, a tensão elétrica varia sobre o resistor do circuito, portanto, esse é o dado principal a ser coletado do circuito do fototransistor, essa tensão (V) sobre o resistor é relativa ao deslocamento axial do corpo de prova, o circuito (2) pode-se visualizado na figura 37:

Figura 37: Circuito 2 - Fototransistor (receptor)

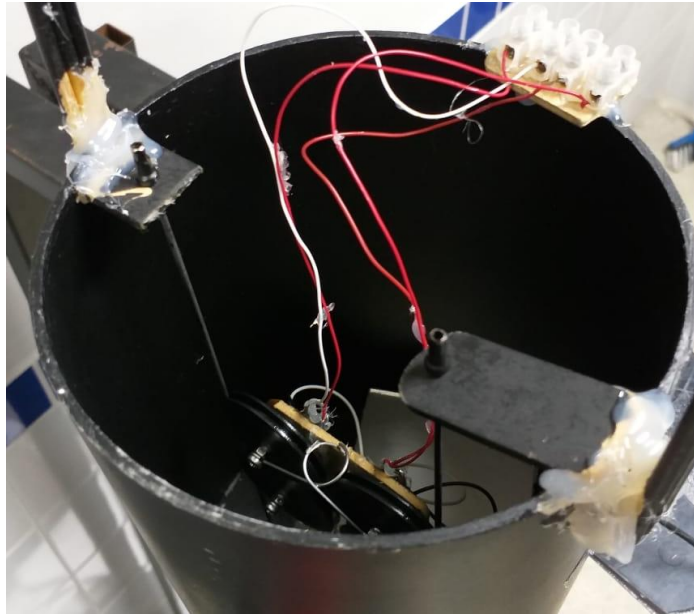


Fonte: Autor, (2019)

Os circuitos dos dispositivos eletrônicos foram montados em uma *protoboard*, e ligados na placa Arduino de forma independentes. O sensor óptico foi colado na borda inferior da plataforma móvel alinhada à superfície do espelho.

Foram soldados nos terminais do sensor fios característicos para identificação da polaridade, visto que em sua composição o sensor é feito por dispositivos semicondutores que permite a passagem da corrente em um único sentido, como o LED infravermelho e fototransistor. Após a soldagem foi realizado o isolamento dos terminais para se evitar contato dos mesmos provocando um curto-circuito. Esses fios devem permanecer estáveis para afim de evitar fadiga nos terminais, e para isso os fios que saem dos terminais foram colados a plataforma de movimento deixando somente suas pontas livres, posteriormente foi soldado fios de cabo USB em cada um dos fios dos terminais, é necessário que os fios tenham uma menor massa possível e sejam flexíveis, apresentando uma bitola pequena para evitar resistência contrária ao deslocamento da plataforma móvel, os fios em suas posições podem ser vistas na figura 38.

Figura 38: Fios fixados nos bornes eletrônicos



Fonte: Autor, (2019)

Nos bornes foram fixados fios adaptados de um cabo USB. É necessário um cabo longo para permitir a ligação do protótipo com a *protoboard* que contém os circuitos elétricos da figura 35 e 37 para o funcionamento do LED infravermelho e do fototransistor, respectivamente.

3.3. TESTE DE EFICIÊNCIA DO SENSOR

A verificação da funcionalidade do sensor foi realizada ainda fora da câmara, onde foram utilizados um paquímetro e um espelho. O sensor foi fixado no bico de medida externa do paquímetro com cola quente, no bico oposto foi colado o espelho, o processo foi necessário para a verificação da sensibilidade de leitura do sensor, nisto foram realizados movimentos de deslocamento milímetro por milímetro e verificado a variação da tensão sobre o circuito do fototransistor. Durante o teste foi observando que havia uma variação da tensão elétrica (V) em relação à variação de deslocamento.

Dentro da câmara foram realizadas as ligações do sensor aos bornes de saída, como já mostrado no tópico anterior, o espelho foi calçado com isopor afim de deixá-lo próximo ao sensor, onde este tem uma limitação de distância em até 25 mm, a distância entre o sensor – espelho ficou em aproximadamente 17mm espaço suficiente para obtenção da variação de tensão elétrica e deslocamento axial do corpo de prova dentro deste intervalo.

3.3.1. Softwares

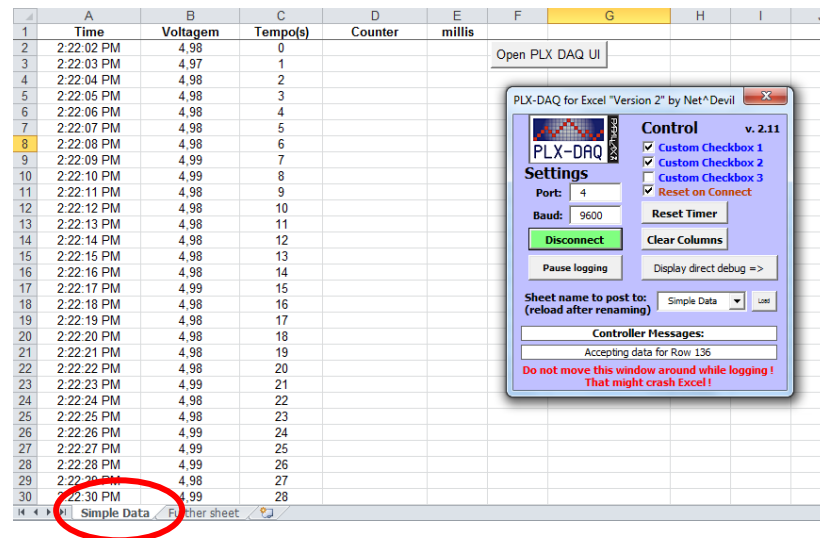
Os softwares utilizados neste trabalho são de fácil obtenção, disponibilizados na internet, com exceção do *Maple*, dentre os softwares utilizados pode-se ser listado a abaixo:

- 1- Arduino IDE;
- 2- Excel;
- 3- PLX – DAQ;
- 4- *Maple*.

O software Arduino IDE foi utilizado para a realização da programação e comunicação com a placa Arduino UNO R3, dentro do software foi realizada a programação de um voltímetro, este programa tem como objetivo a leitura direta da tensão (V) no circuito do fototransistor, a programação para a realização da leitura pode ser observada no anexo (I) no final deste trabalho, para tanto, este software só foi utilizado para a verificação eficiência do sensor óptico através da interface do *software* Arduino (“*Serial Monitor*”), mostrando de forma instantânea a tensão (V) em relação ao deslocamento da superfície refletora, por ser mais limitado preferiu-se a utilização do *software* PLX – DAQ que permite enviar os dados para a planilha eletrônica Excel.

O Excel é um dos *softwares* com amplas funcionalidades e ferramentas de cálculos, construção de tabelas e gráficos. Para o trabalho em si foi o *software* mais essencial, já que pode ser encontrado facilmente, e com realização de manipulação dos dados colhidos de forma mais precisa. O PLX – DAQ, este é um *software* produzido e programado em linguagem específica da Microsoft e do pacote office, *Visual Basic for application* (VBA), a interface é de forma interativa com o usuário. Como já supracitado este permite o envio dos dados colhidos no Arduino para uma planilha do Excel, de forma instantânea. Com os dados na planilha é possível utilizar todas funcionalidades do Excel. A interface pode ser observada na figura 39 a seguir:

Figura 39: Interface do Excel com o programa em execução

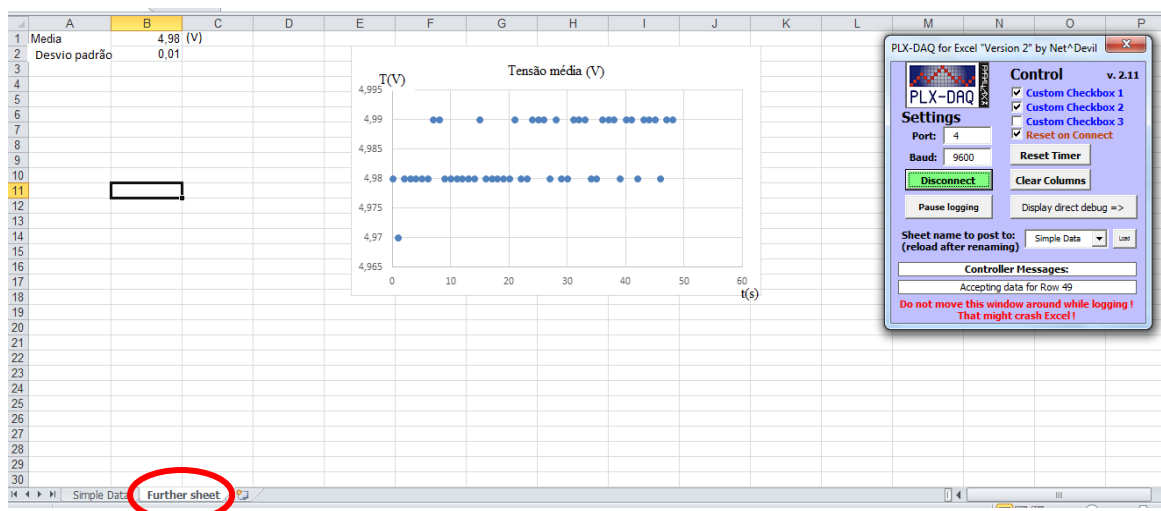


Fonte: Autor, (2019)

Na aba da planilha *Simple data*, quando o usuário clica no botão *connect* as linhas de comando que estão escritas no microcontrolador que faz parte da placa Arduino começam a ser executados, os valores coletados aparecem nas colunas informando a hora, voltagem e tempo de execução. Quando o usuário clica em *disconnect* o programa finaliza a execução.

Na aba da planilha *Further sheet*, foi criado nesta página um gráfico que mostra as tensões elétricas em relação ao tempo coletadas pelo Arduino fazendo-se então em uma célula a média dos pontos observados e em outra célula realiza o desvio padrão ($\pm$) aceitável da tensão elétrica, vide a figura 40:

Figura 40: Interface da variação média dos pontos



Fonte: Autor, (2019)

Nesta aba fica as informações da tensão elétrica (V) em relação ao tempo (s), em dado momento da aplicação de massas no suporte de cargas sendo transmitidas de forma direta ao corpo de prova, levando a sua deformação axial. Com a aplicação das cargas a tensão elétrica tende a aumentar. Esses dados são as principais informações para obtenção dos gráficos para a realização de análises qualitativas dos dados obtido do material.

Com os dados disponíveis de tensão elétrica e deformação do corpo, pode-se analisar os dados através do *software* matemático *Maple*. Com base nos dados o *software* ajusta uma curva aos dados observados através nele, da interpolação matemática dos dados criando um gráfico característico dos pontos por método de *spline*. O *software* estima funções dos intervalos entre os pontos, funções estas que podem ser utilizadas de diversas maneiras como por exemplo, a sua utilização na programação do Arduino para obtenção da deformação do corpo em relação a tensão elétrica, sem a necessidade de medidas direta com a utilização do paquímetro. Para essa ocasião fica para um trabalho de análise quantitativa, onde este não faz parte deste devido trabalho por motivos de limitações construtivas.

3.4. ENSAIOS MECÂNICO DE TRAÇÃO

Para a realização do ensaio de tração de forma qualitativa fez-se necessário a comunicação entre o protótipo a placa Arduino e um computador com os *softwares* instalados, os processos dos dados podem ser visto na figura 41:

Figura 41: Fluxograma de comunicação do processo de ensaio



Fonte: Autor, (2019)

O primeiro passo realizado foi a introdução do corpo de prova no furo das vigas, realizou-se rotação do corpo para deixar as cabeças de forma paralela as superfícies móveis das morsas no interior do perfil “U”. Após encontrar a posição ideal foi realizado a rotação das alavancas para fazer aperto das morsas nas cabeças do corpo, como na figura 42:

Figura 42: Corpo de prova fixado entre as vigas



Fonte: Autor, (2019)

O seguinte procedimento realizado foi a colocação da plataforma de carga na viga inferior do protótipo, onde possui um cabo de aço para sua sustentação. Tenta-se nesse momento a estabilização da plataforma para reduzir a variação da tensão elétrica coletadas pelo sensor. Na figura 43 mostra o protótipo pronto a receber a adição de cargas.

Figura 43: Protótipo montado



Fonte: Autor, (2019)

Após a estabilização da plataforma é adicionado sobre a mesma massas padronizadas, inicia-se o processo de colhimento de dados através do Excel clicando sobre o botão *Connect*.

Com o sistema pronto para se obter os dados, realizou-se o procedimento ensaio de tração. Colheu-se a tensão elétrica (V) inicial somente com a plataforma suspensa e estabilizada. Pegou-se com um paquímetro digital, a medida inicial da distância entre as vigas para a comparação com as seguintes deformações que se sucederam com o ensaio.

Adicionou-se a primeira massa padrão, aguardou-se um período de aproximadamente 40 segundos, observou-se via Excel a média da tensão elétrica e verificação do desvio padrão de ($\pm 0,01$ V), se o desvio estivesse fora deste intervalo, buscava-se a estabilização da plataforma. Quando estabilizado, realizava-se o procedimento de medida com o paquímetro da distância entre as vigas, no mesmo local e posição da leitura inicial, a deformação do corpo é a diferença da medida lida com a medida inicial, o paquímetro por ser digital nós dar-nos a diferença da medida de forma direta, assim otimizou-se tempo com as medidas. Anotando-se os dados faz-se então a adição de mais uma massa, repetiu-se novamente todo o processo anterior.

Os parâmetros estabelecidos para o encerramento dos ensaios foram estabelecidos de acordo com as limitações do protótipo. No caso deste trabalho foi estabelecido parâmetros de deformação máxima e carga máxima de adição, no caso da deformação máxima foi estabelecido um valor de deformação total do corpo em aproximadamente 17mm, intervalo este entre o sensor utilizado e o espelho, evitando assim o contato entre as duas peças provocando possíveis danos.

As massas padronizadas foram limitadas devido ao ensaio não ter o objetivo de caráter destrutivo do corpo, estabeleceu-se massas que somassem no total 44 kg. Foi verificado durante os ensaios que até essa massa não haveria risco de escorregamento do corpo nas vigas quando bem fixados, e sem o risco de rompimento do mesmo, por fim, pôde-se observar de forma segura o regime elástico do corpo de prova e sua deformação com o passar o tempo e a extração de medidas diretas de deformação com paquímetro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o protótipo montado foi então realizado a segunda etapa da metodologia adotada neste presente trabalho. Com os dados em obtidos foi-se então realizado resultados finais e considerações sobre a influencia da natureza do mecanismo da construção do protótipo.

Muitos foram os fatores de influenciaram nos resultados dos ensaios, como fatores construtivos, atrito, peças adaptadas, fatores ambientais e falta de padrão na execução entre os ensaios. Com esses fatores foram coletados os dados e realizado a plotagem do gráfico tensão elétrica (V) X deformação (mm) do corpo de prova, consequentemente feita a análise de forma qualitativa dos gráficos gerados e suas conclusões.

4.1. ENSAIO 1 – POLIPROPILENO (PP) (1)

O corpo foi acoplado nas vigas em seguida foi feito o aperto das morsas, posteriormente foi realizada a acoplagem da plataforma de carga e extraído a tensão elétrica inicial, sendo esta o primeiro dado a ser anotado como medida 1. A distância entre as vigas fora extraído com o paquímetro digital e zerado na distância lida, sendo esta a referência de deformação posteriores. O corpo foi submetido a aplicação da primeira carga, durante um período de tempo, esperou-se a tensão (V) se estabilizar mantendo um desvio padrão de ($\pm 0,01$ V), acontecendo isso o valor da tensão (V) foi anotado em uma planilha auxiliar. O deslocamento entre as vigas foi medido com o paquímetro digital e anotado na planilha auxiliar. Repetindo-se o processo até que as massas padrões fossem todas adicionadas na plataforma de carga, na tabela 3 pode-se ver os dados extraídos:

Tabela 3: Dados coletados do polipropileno (1)

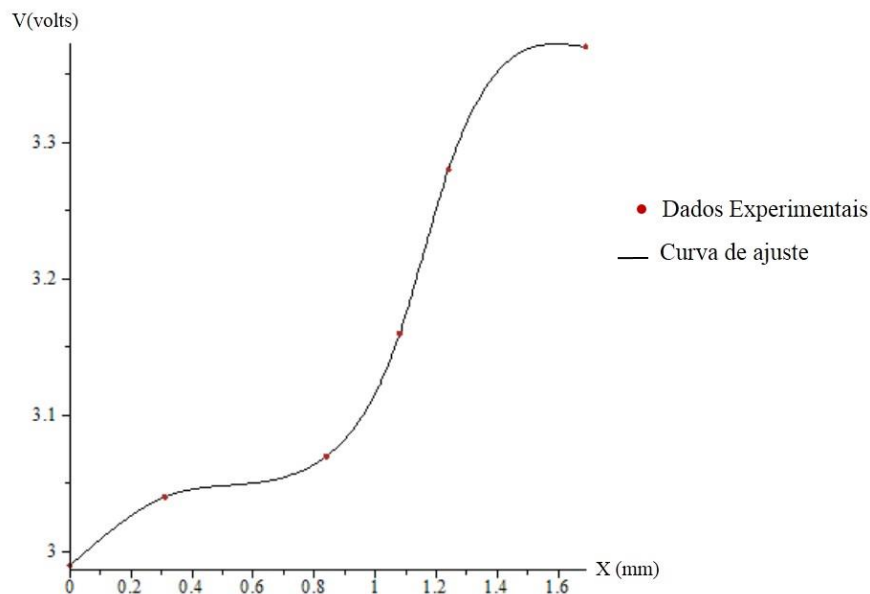
Medida	Tensão(V)	Deformação(mm)
1	2,99	0,00
2	3,04	0,31
3	3,07	0,84
4	3,16	1,08
5	3,28	1,24
6	3,37	1,69
7	3,73	2,55

Fonte: Autor, (2019)

Com dados acima, foi possível elaborar o gráfico de tensão elétrica (V) pela deformação (mm) do polipropileno, embasado nas características do material analisado e no mecanismo do protótipo pode-se realizar as análises qualitativas sobre seu comportamento durante a aplicação das cargas em relação ao tempo de atuação.

Com a adição dos dados no *Maple* foram realizados uma interpolação entre pontos, e gerado uma curva de aproximação entre os pontos pelo método de *spline*, onde é possível a visualização de um gráfico e seu comportamento. O gráfico resultante do polipropileno (1) pode ser visualizado na figura 44:

Figura 44: Gráfico tensão (V) X deformação (mm) (1)



Fonte: Autor, (2019)

Pode-se observar no gráfico que a tensão elétrica aumenta com a deformação do corpo de prova, isso já era esperado. Para tanto verifica-se uma deformação não linear, podendo ser associada a não padronização de tempo para a adição das cargas. Pode-se também se associa a acomodação do corpo nas vigas, podendo causar uma rápida distorção da leitura do sensor.

Nota-se também no gráfico a elevada deformação do polipropileno sem a adição de carga, chegando em um certo momento como no topo do gráfico a redução da deformação do corpo, associando assim a possíveis erros de leitura devido a plataforma de movimento poder se inclinar para os lados devido a instabilidade da plataforma de carga quando se é adicionado cargas.

4.2. ENSAIO 2 – POLIPROPILENO (PP) (2)

Neste segundo ensaio utilizou-se um corpo de prova em polipropileno utilizado em um teste na fase de construção do protótipo, seguindo a mesma metodologia do ensaio anterior, foi coletado dados e a plotagem do gráfico no *Maple*.

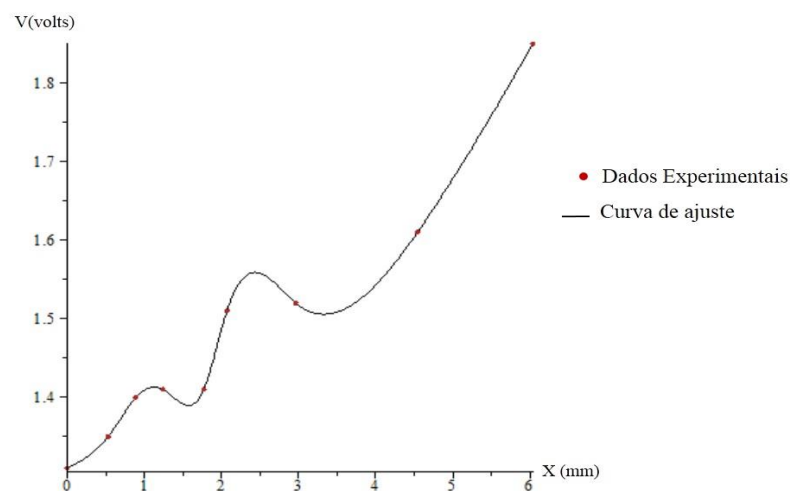
Tabela 4: Dados coletados do polipropileno (2)

Medida	Tensão(V)	Deformação(mm)
1	1,31	0
2	1,35	0,53
3	1,4	0,89
4	1,41	1,24
5	1,41	1,77
6	1,51	2,07
7	1,52	2,96
8	1,61	4,54
9	1,85	6,04

Fonte: Autor, (2019)

Com os dados acima pode-se por *spline* a plotagem do gráfico da seguinte maneira:

Figura 45: Gráfico tensão (V) – deformação (mm) (2)



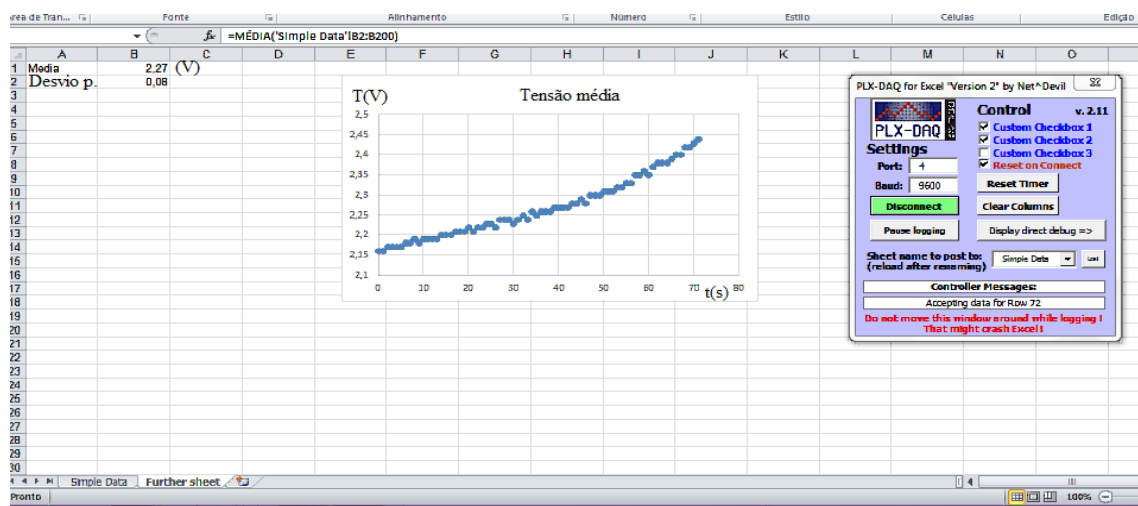
Fonte: Autor, (2019)

Como pode-se observar no gráfico a tensão elétrica aumenta de acordo com a deformação do corpo de prova, o que é já era esperado, porém o gráfico não ficou semelhante ao comportamento do material anterior.

A explicação desse comportamento se deu pelo fato de o corpo de prova já ter sido utilizado no teste construtivo do dispositivo. Não se sabe como ficou a integridade do material no teste, já que foi de forma informal sem nenhum objetivo de ensaio.

No início do gráfico observou-se que se iniciou de forma característica ao seu anterior, porém do decorrer do ensaio, os dados obtidos estavam aumentando seus valores de forma extraordinária, podendo ser associado a alguma anomalia provindo do corpo ou por sua fixação nas vigas, até então desconhecida. Em uma determinada etapa do ensaio, observou-se um comportamento fora do normal com o colhimento de tensão elétrica. A tensão elétrica aumentava, dando sinal em que o corpo de prova estava sofrendo uma deformação de forma continua sem a adição de carga. A anomalia apresentada no gráfico da figura 45 pode ser visualizada também no Excel, onde a tensão aumentou em relação ao tempo com a mesma carga, vide figura 46:

Figura 46: Interface do Excel durante o ensaio do polipropileno (2)



Fonte: Autor, (2019)

Com a observação não esperado dos pontos apresentados pelo Excel, foi constatado um rápido descolamento do corpo, com isso o ensaio foi abortado afim de preservar a integridade do dispositivo montado na câmara de leitura do protótipo. Após a remoção de todas as cargas da plataforma, foi descoberto que o corpo de prova estava em processo de escorregamento da viga

superior, o protótipo se mostrou de forma eficiente na detecção dessa anomalia durante o ensaio evitando assim a queda da plataforma de carga de forma não programada.

4.3. ENSAIO 3 – POLIPROPILENO NEGRO DE FUMO (PNF)

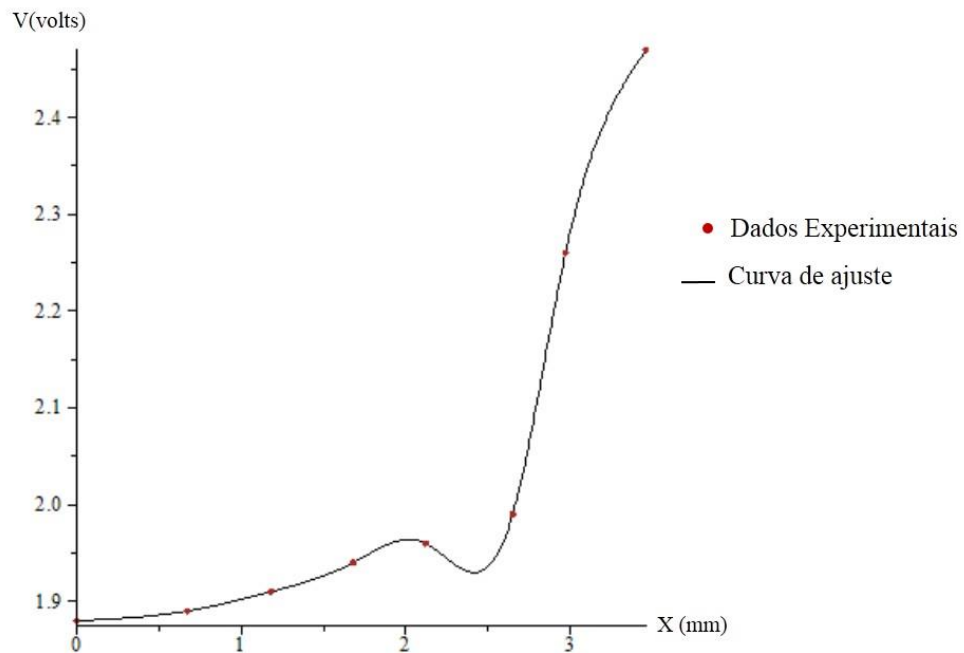
O polipropileno negro de fumo (PNF) é um polímero mais rígido em relação ao polipropileno (PP) acima ensaiados. O objetivo do ensaio com este material é verificar se o protótipo tem capacidade identificar a deformação de corpos mais rígidos, e fazer avaliações qualitativas das características do gráfico gerado. Repetindo a metodologia de obtenção de dados, podemos visualizar os resultados na tabela 5:

Tabela 5: Dados coletado do polipropileno negro de fumo

Medida	Tensão(V)	Deformação(mm)
1	1,88	0
2	1,89	0,67
3	1,91	1,18
4	1,94	1,68
5	1,96	2,12
6	1,99	2,65
7	2,26	2,97
8	2,47	3,46

Fonte: Autor, (2019)

Com os dados acima pode-se realizar os mesmos procedimentos no *software Maples* e obter as curvas características dos pontos pelo método de *spline* e a interpretação do gráfico da figura 47:

Figura 47: Gráfico tensão (V) - deformação (X)

Fonte: Autor, (2019)

No gráfico gerado foi possível visualizar como a inclinação da linha é menor em relação a corpos menos rígidos, mostra também a pequena variação da deformação e tensão elétrica, porém, quando foi utilizado cargas maiores como as de 8 kg, a deformação do corpo deu um salto, que pode ter se dado pela acomodação do corpo ao suporte, e como já citado no ensaio 1 a instabilidade da plataforma com a adição de cargas maiores, fazendo com que o sistema se incline para os lados prejudicando a leitura da deformação do corpo de prova.

5. CONCLUSÃO

Com este trabalho conclui-se que devido ao fato de que o desenvolvimento do protótipo ter utilizado materiais reutilizáveis, que são produzidos para desempenhar outras funções, mostrou que é possível a construção de um dispositivo para a realização de ensaios de tração mecânica em corpos de prova, utilizando materiais simples e *softwares* disponíveis na internet com exceção do software *Maple*, este pode-se ser substituído por outros *softwares* comuns como *Matlab*. Como o dispositivo é apenas um protótipo cabe em sua construção diversas mudanças estruturais e melhorias específicas dependendo da necessidade.

Para este dispositivo, foram encontrados diversos obstáculos no processo construtivo, devido à falta de recursos e falta de fornecedores de peças para a produção por encomenda. Para tanto, necessária a adaptação de peças com serventia para outros fins. Outro fator que impediu uma melhor forma de obtenção de dados, foram os atritos presentes em todo o sistema, este foi o maior empecilho para uma melhor eficiência do protótipo, fazendo a dispensação de metodologias mais práticas de automação da leitura. Durante o processo de construção, o projeto foi alterado diversas vezes afim de encontrar melhorias na leitura de dados.

Os resultados obtidos pelo protótipo foram satisfatórios, apesar das suas limitações construtivas e recursos disponíveis. O sensor utilizado funcionou de forma eficiente conseguindo identificar pequenas deformações bem como toda parte de *software*, sendo possível a coleta da variação da tensão elétrica, determinando o comportamento do corpo durante o processo de carregamento de carga, elaborando então com o auxílio de um *software* matemático, a criação das curvas características entre os pontos, formando gráficos para análises qualitativas. Fazendo assim o papel didático objetivado por este trabalho, instigando a interpretação de gráficos em diversas situações práticas.

6. SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

A proposta de aprimoramento e melhorias do protótipo está diretamente ligada aos seus materiais de construção, recomenda-se a construção do dispositivo a partir de peças de melhor qualidade e apropriadas para os devidos fins.

A redução de atrito do sistema é o fator chave, para facilitar a diminuição dos atritos é necessário a produção de peças por encomenda, sendo produzidos sobre medida com um fim específico. A plataforma móvel é a peça do dispositivo mais importante, porém é a que mais apresenta problema em atrito e não perpendicularidade da mesma em relação ao fundo da câmara devido a fatores construtivos, deve-se então sanar esses problemas mecânicos com a produção de roldanas utilizando rolamentos, sem que este não deve apresentar folgas e vibrações durante a rolagem.

A perpendicularidade da plataforma é essencial para a utilização de sensores ópticos, visto durante a produção do protótipo que uma pequena variação não perpendicular à superfície refletora, gera medidas falseadas e imprecisas, portanto, a solução é construir uma linha guia da plataforma de movimento diretamente proporcional ao conjunto de roldanas feitas sobre encomenda.

O protótipo produzido no atual trabalho permite a utilização de outros tipos de sensores ou transdutores de deslocamento axial, podendo utilizar plataforma de movimento no interior da câmara como local de acoplamento dos sensores e transdutores, para a verificação da deformação do corpo ensaiado.

Outro problema a ser aprimorado a este dispositivo, é o sistema de transmissão do deslocamento da viga inferior, a plataforma de deslocamento. A viga por ficar de modo suspensa, acaba ocorrendo rotação e inclinações que acabam prejudicando e influenciando nas medições, , portanto, deve ser feito um sistema de ancoragem do raio de transmissão na viga a plataforma que permita um grau de liberdade de absorção de movimentos indesejados.

Outra proposta é a estabilização da plataforma de carga, quando havia adição de cargas, esta por esta suspensa se movimentava. A proposta é a produção de hastes verticais que fixas ao solo sirva de guia para a estabilização da plataforma.

Pode-se utilizar os dados de massa obtidos, para o cálculo de tensão mecânica sobre a área do corpo de prova, pode-se relacionar a tensão mecânica com a deformação do corpo fazendo

a relação da conservação do volume para se encontrar as áreas em relação a deformação, determinando a tensão mecânica em cada área, realizando a plotagem do gráfico tensão (σ) *versus* deformação (mm). Com os dados ainda pode-se determinar a constante elástica do corpo utilizando a Lei de Hook.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASKELAND, Donald R.; WRIGHT, Wendelin J. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Cengage, 2014.

ARRUDA, Fernando. **Implementação de um Equipamento de Medição do Módulo de Elástica Informatizado**. Monografia. Universidade de São Paulo – USP, São Carlos – SP, 2012.

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. 1. Ed. São Paulo: MANOLE, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA – ABNT. **NBR 6152: Materiais metálicos – ensaio a tração a temperatura ambiente**. Rio de Janeiro, 1992.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

_____.CASTILHO. **Viga U dobrada em chapa de aço**. Disponível em : < <http://www.castilhocomercial.com.br/viga-u-dobrada-chapa-aco>> Acessado em: 20/02/2019.

CRAIG, Jr.; ROY R. **Mecânica dos Materiais**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2015.

CRESWELL, John W. **Projeto de Pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2007.

_____.EMIC. **Maquinas de ensaio universal**. Disponível em: <www.emic.com.br/Produtos+Mostra/2/18/232/Maquina+universal+para+ensaios+mecanicos+de+tracao_+compressao_+flexao_+etc_+modelo+EMIC+23_20_+eletromecanica_+microprocessada_+marca+INSTRON+EMIC/> Acesso em: 10/01/2019

_____.FILIPEFLOP. **Sensor óptico reflexivo Fototransistor TCRT5000**. Disponível em: < <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-optico-reflexivo-tcrt5000/>> Acessado em: 17/03/2019.

GERE, James M.; GOODNO, Barry J. **Mecânica dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Cengage, 2014.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. Ed. São Paulo: Pearson, 2010.

NASCIMENTO, F. S.; HELAL, D. H. Expansão e interiorização das universidades Federais: Uma análise do processo de implementação do campus do Litoral Norte da Universidade Federal da Paraíba. **Rev. Gual**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 45-67, jan. 2015.

PATSKO, Luís. **Tutorial Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores**. Disponível em: <https://www.maxwellbohr.com.br/downloads/robotica/mec1000_kdr5000/tutorial_eletronica_-_aplicacoes_e_funcionamento_de_sensores.pdf> Acessado em: 17/03/2019.

PEREIRA, Edom Jobabe. **Estudo da resistência mecânica por ensaio de tração em sacarias de grãos de polipropileno**. Monografia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró – RN, 2015.

_____.RANDOM NERD TUTORIALS. **Electronics Basics: How a Potentiometer Works**. Disponível em < <https://randomnerdtutorials.com/electronics-basics-how-a-potentiometer-works/>> Acessado em: 17/03/2019.

SHACKELFORD, James F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

SOUSA, C. et. al. A importância da aula prática no laboratório de Biologia: ferramenta no processo de ensino-aprendizagem de alunos do curso técnico em análises clínicas em Floriano/PI. In: III CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 2016, Olinda-PE.

UDESC. **Medidores de deslocamento**. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/veriano/materiais/05_Medidoresdesdeslocamento.pdf> Acessado em: 17/03/2019.

_____.UFPR.**SENSORES**. Disponível em: <www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/2000/gaspareto/Funcionamento.htm> Acesso em: 16/03/2019.

_____. UNICAMP. CARAM, Rubens, Notas de aula. **Estrutura e propriedades dos materiais**, Disponível em: < <http://www.fem.unicamp.br/~caram/PEM240.htm> > Acesso em: 05/11/2018

_____. UNICAMP. **Medição de deformação, tensão, força e movimento**. Disponível em: <www.fem.unicamp.br/~instmed/Deformacao_Torque.htm> Acesso em 16/03/2019.

VAN VLACK, Lawrence Hall. **Princípios de Ciência dos Materiais**. São Paulo: Blucher, 1970.

ANEXO I – VOLTÍMETRO

```

int ROW=0;

int LABEL=1;

int analogInput = A0;

int porta=7;

float valorporta;

float Vo = 0.0, Vi = 0.0;

float value_aux = 0, value = 0;

//Valores dos Resistores//

float R1 = 99.2*pow(10,3); //Resistência R1 (100K)

float R2 = 9.9*pow(10,3); //Resistência R2 (10K)

void setup(){

    Serial.begin(9600);

    Serial.println("CLEARDATA");

    Serial.println("LABEL,Time,Voltagem,Tempo(s)");

}

void loop(){

    valorporta=1;

    //Aquisição

    for(int i=60;i>0;i--){

        value_aux = analogRead(analogInput);

        value += pow(value_aux,2);

    }

```

```

value = sqrt(value/60);

Vo = (value * 5.0) / 1023.0;

Vi = Vo / (R2/(R1+R2));

if (Vi<0.09) {Vi=0.0;} //Filtrando medições errôneas!

float tempo = millis()/1000;

Serial.print("DATA,TIME,");

Serial.print(Vi);

Serial.print(",");

Serial.println(tempo);

if(valorporta=0)

{

ROW++;

if(ROW > 5000)

{

ROW=0;

Serial.println("ROW,SET,2");

}

}

delay(1000);

}

```