

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FERNANDO GIACOMELLI SCHREIBER

**DISPOSITIVO PARA A MEDIÇÃO DA FORÇA MÍNIMA NECESSÁRIA  
PARA O FECHAMENTO DE LACRES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA  
ALIMENTÍCIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
(Tcc 2)

CURITIBA

2019

FERNANDO GIACOMELLI SCHREIBER

**DISPOSITIVO PARA A MEDIÇÃO DA FORÇA MÍNIMA NECESSÁRIA  
PARA O FECHAMENTO DE LACRES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA  
ALIMENTÍCIA**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc 2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Luciano Zart Olanyk

CURITIBA

2019

## TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "DISPOSITIVO PARA A MEDIÇÃO DA FORÇA MÍNIMA NECESSÁRIA PARA O FECHAMENTO DE LACRES UTILIZADOS NA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA", realizado pelo FERNANDO GIACOMELLI SCHREIBER, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Luciano Zart Olanyk

DAMEC, UTFPR

Orientador

Prof. Nilton Luiz Cararo

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Prof. Maria das Graças Pelisson

DAMEC, UTFPR

Avaliador

Curitiba, 18 de novembro de 2019

## **AGRADECIMENTOS**

Ao engenheiro Jair Lazari por indicar o tema deste trabalho e possibilitar o contato com a empresa Plásticos Pasquali.

A Plásticos Pasquali que abriu suas portas, me propiciando uma grande oportunidade para aplicar os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Mecânica e dando suporte financeiro em tudo o que foi necessário para o bom desenvolvimento deste projeto.

Aos familiares pela paciência, apoio e torcida durante todo o período em que estive envolvido com o trabalho.

## RESUMO

SCHREIBER, Fernando G. **Dispositivo para a medição da força mínima necessária para o fechamento de lacres utilizados na indústria alimentícia.** 115f. Trabalho de Conclusão de Curso - TCC2, Bacharelado em Engenharia Mecânica, Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Na indústria de linguiças e embutidos, lacres plásticos são utilizados para permitir que o consumidor identifique a marca do produto. Sua colocação na maioria das vezes é feita de forma manual por um operador, o que pode trazer problemas como lesão por esforço repetitivo ou distúrbio osteomuscular. Para evitar/reduzir estes problemas nos operadores, a força de fechamento desses lacres deve ser relativamente pequena. Em função disso, o objetivo deste trabalho é projetar e fabricar um dispositivo que permita a empresa Plásticos Pasquali, fabricante destes lacres, ter um controle estatístico da força necessária para o fechamento de seus lacres plásticos. O projeto foi realizado utilizando ferramentas da metodologia proposta por Pahl *et al* (2005), sendo geradas 7 concepções que foram posteriormente analisadas seguindo o método de Pugh modificado, onde foi selecionada a concepção mais adequada ao projeto. Em seguida, deu-se viabilidade técnica e econômica a esta concepção, onde foram realizadas as etapas do projeto preliminar e detalhado. Com isto, foi fabricado e testado um protótipo funcional do produto. O resultado deste trabalho forneceu um produto com precisão e repetitividade suficientes para a aplicação desejada e com um custo baixo, comparado com os produtos similares disponíveis no mercado.

**Palavras-chave:** Projeto; Dispositivo de medição de força; Força de fechamento; Lacres plásticos; Embutidos.

## ABSTRACT

SCHREIBER, Fernando G. **Device for measuring the minimum force required for closing seals used in the food industry.** 115 f. Undergraduate Thesis, Mechanical Engineering, Academic Department of Mechanical, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

In the sausage industry, plastic seals are used to enable consumers to identify the brand of the product. Its placement is most often done manually by an operator, which can lead to problems such as repetitive strain injury or musculoskeletal disorder. To avoid/reduce these operator problems, the closing force of these seals should be relatively small. Because of this, the objective of this work is to design and manufacture a device that allows the company Plastics Pasquali, manufacturer of these seals, to have a statistical control of the force required to close their plastic seals. The project was carried out using tools of the methodology proposed by Pahl et al (2005), generating 7 conceptions that were later analyzed following the modified Pugh method, where the most appropriate conception to the project was selected. Then, technical and economic viability was given to this conception, where the preliminary and detailed design steps were performed. With this, a functional prototype of the product was manufactured and tested. The result of this work provided a product with enough precision and repeatability for the desired application and at a low cost, compared to similar products available on the market.

**Keywords:** Project; Force measuring device; Closing force; Plastic seals; sausage.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos polímeros .....	5
Figura 2 - Polimerização do propileno .....	6
Figura 3 - Compromisso entre estrutura, processo, morfologia e propriedades de produtos acabados .....	7
Figura 4 - Comparação de algumas propriedades em diferentes tipos de PP.....	8
Figura 5 - Injetora com as unidades de injeção e fechamento .....	9
Figura 6 - Exemplo de sistema de injeção câmara quente <i>multi-point</i> da Polimold .....	11
Figura 7 - Lacres plásticos para linguixa .....	13
Figura 8 - Exemplo de lacres produzidos pela Plásticos Pasquali .....	14
Figura 9 - Molde de injeção de lacres utilizado na Plástico Pasquali .....	15
Figura 10 - Vista superior do desenho do molde .....	15
Figura 11 - Fluxograma de apoio para escolha das cartas de controle .....	19
Figura 12 - Comparação entre exatidão e precisão.....	20
Figura 13 – <i>Strain gauge</i> ou extensômetro .....	21
Figura 14 - Placa Arduino uno R3 .....	23
Figura 15 - Histograma representando uma distribuição gaussiana.....	26
Figura 16 - Casa da qualidade .....	29
Figura 17 - Etapas do detalhamento do projeto .....	35
Figura 18 - Casa da qualidade modificada .....	37
Figura 19 - Simbologia utilizada no telhado da casa da qualidade.....	37
Figura 20 - Mecanismo do ignitor piezoelétrico de um isqueiro a gás .....	42
Figura 21 - Croqui da concepção selecionada .....	52
Figura 22 - Esquema de ligações do sistema de medição.....	54
Figura 23 - <i>Parallax Data Acquisition tool</i> .....	55

Figura 24 - Esquema de ligação da placa de circuito impressa projetada no Eagle.....	56
Figura 25 - Célula de carga de 5 kg para Arduino .....	58
Figura 26 - Módulo HX711.....	58
Figura 27 - <i>Display</i> 16x2 para Arduino .....	59
Figura 28 - Deslocamento em função da rotação e do passo do fuso .....	60
Figura 29 - <i>Kit</i> comercial fuso <i>tr8</i> com mancais e castanha.....	60
Figura 30- Manivela. ....	61
Figura 31 - Eixo retificado com rolamentos <i>pillow block</i> .....	62
Figura 32 - Morsa pequena.....	62
Figura 33 - Estrutura do dispositivo .....	63
Figura 34 - Parte inferior da estrutura .....	64
Figura 35 - Parte superior da estrutura .....	65
Figura 36 - Placa de circuito utilizando fenolite e solda estanho. ....	66
Figura 37 – União .....	66
Figura 38 - <i>Case</i> para o LCD.....	67
Figura 39 - Caixa para o sistema em Arduino e botões .....	68
Figura 40 - Renderização do dispositivo montado.....	69
Figura 41 - Comparação entre modelo 3D e o protótipo real .....	75
Figura 42 - Obtenção da reta de calibração da célula de carga para Arduino ...	76
Figura 43 - Calibração da célula de carga na programação do sistema .....	76
Figura 44 - Posicionamento do lacre plástico no dispositivo .....	81
Figura 45 - Dinamômetro digital com suporte para bancada. ....	84
Figura 46 - Casa da qualidade.....	93
Figura 47 - Desenho de fabricação da base da estrutura. ....	94
Figura 48 - Desenho de fabricação do fundo da estrutura. ....	95



**Figura 49 - Desenho de fabricação do teto da estrutura. ....95**

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Especificações técnicas do Arduino uno R3 .....	23
Quadro 2 - Estimadores e parâmetros populacionais de uma amostra de n medições.....	25
Quadro 3 - Matriz morfológica.....	32
Quadro 4 – Método de Pugh modificado.....	34
Quadro 5 - Requisitos do usuário .....	44
Quadro 6 - Importância dos requisitos de projeto .....	46
Quadro 7 - Matriz morfológica.....	47
Quadro 8 - Principais soluções encontradas.....	49
Quadro 9 - Matriz de avaliação das concepções .....	51
Quadro 10 - Comparação dos modelos CAD com os componentes reais .....	73
Quadro 11 - Resultado dos primeiros testes .....	77
Quadro 12 - Teste estático com pesos padrão .....	78
Quadro 13 - Testes da influência da velocidade de medição nos valores obtidos .....	79
Quadro 14 - Testes lacres de diferentes cavidades .....	82
Quadro 15 - Custos dos materiais utilizados na fabricação do protótipo.....	83
Quadro 16 - Recomendações para rosqueamento com machos de rosca métrica. ....	103

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS**

ABS	<i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
CEP	Controle Estatístico do Processo
DORT	Distúrbio Osteomuscular Relacionado ao Trabalho
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LER	Lesão por Esforço Repetitivo
PP	Polipropileno

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto do Tema	1
1.2	Caracterização do Problema	2
1.3	Objetivos	2
1.4	Justificativa	2
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO / FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>4</b>
2.1	Polímeros	4
2.2	Injeção Plástica	8
2.3	Lacres plásticos para linguixa	12
2.4	Lesão por esforço repetitivo em operadores	16
2.5	Controle estatístico do processo	16
2.6	Sensores de força	21
2.7	Placa de circuito eletrônico Arduino	22
2.8	Incertezas de medição	24
2.9	Metodologias de desenvolvimento de projetos	26
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>36</b>
3.1	Projeto informacional	36
3.2	Projeto conceitual	38
3.3	Projeto preliminar	38
3.4	Projeto detalhado	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>44</b>
4.1	Necessidades do cliente e requisitos do usuário	44
4.2	Requisitos de projeto	45
4.3	Matriz morfológica	46
4.4	Gerações de concepções	49
4.5	Avaliação das concepções	50
4.6	Descrição da concepção selecionada	52
4.7	Projeto preliminar e detalhado	53
4.8	Projeto detalhado	70
4.9	Testes e validação	76
<b>5</b>	<b>ANALISE DOS CUSTOS</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>85</b>
6.1	Melhorias para trabalhos futuros	86
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>88</b>
	APÊNDICE A – CASA DA QUALIDADE	93
	APÊNDICE B – DESENHOS DE FABRICAÇÃO	94
	APÊNDICE C – CÓDIGO DA PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA EM ARDUINO	96
	APÊNDICE D – TESTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO	100
	ANEXO A – RECOMENDAÇÕES PARA ROSQUEAMENTO	103

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contexto do Tema

A injeção de plásticos consiste em fundir o polímero e moldá-lo na forma adequada e de acordo com a finalidade da peça. As etapas do processo envolvem o aquecimento da matéria-prima, a injeção no molde e o resfriamento. Para cada peça a ser moldada, acontece o ciclo completo: fechamento do molde, injeção do material fundido, recalque, resfriamento, abertura do molde e extração da peça (HARADA, 2008). Este método de produção é uma alternativa muito utilizada em larga escala para a produção de peças plásticas por possuir baixo custo operacional, rapidez, precisão, ótimo acabamento, alta produtividade, flexibilidade e baixo custo da mão de obra (SHACKELFORD, 2005).

A empresa Plásticos Pasquali, para a qual foi desenvolvido este trabalho, é especializada em desenvolver soluções em plástico injetado para a indústria frigorífica. Um dos produtos produzidos e vendidos pela empresa são os lacres plásticos para linguiça, no qual o plástico é injetado em um molde com sistema de câmara quente *multi point* de 24 cavidades, saindo 24 lacres plásticos a cada 6 segundos aproximadamente de cada molde. Estes moldes são projetados pela Moldesign, empresa localizada em Curitiba (PLÁSTICOS PASQUALLI, 2010).

No processo de injeção plástica, para que um produto saia conforme o planejado, diversos fatores devem ser levados em conta dependendo do produto a ser fabricado. Entre eles estão o tipo do molde a ser utilizado, o uso de um polímero adequado, tipo de máquina injetora, projeto do molde adequado, etc. Além disso, deve-se regular e controlar diversos parâmetros do processo como temperatura de injeção, pressão de injeção, pressão de fechamento do molde, tempo de resfriamento, desgastes nos moldes, entre outros. Nesse sentido, qualquer variação indesejada no processo pode fazer com que os produtos saiam fora dos padrões aceitáveis (HARADA, 2004). Portanto, o controle de qualidade é de fundamental importância nesse método de fabricação (RIBEIRO, 2012).

O Controle Estatístico do Processo é uma das formas de se controlar a qualidade nos processos de injeção plástica. Para isso um sistema de medição deve

coletar dados sobre a característica a ser analisada, realizando a comparação com os limites aceitáveis predefinidos para definir se as peças estão saindo conforme o planejado ou não (RIBEIRO, 2012).

## **1.2 Caracterização do Problema**

Na maioria das empresas clientes da Plásticos Pasqualli, o processo de colocação dos lacres nas linguças é feito de forma manual, onde um operador aplica uma determinada força com a mão para o fechamento dos lacres. Esse processo é realizado repetitivamente e várias vezes por dia, o que pode vir a causar problema como lesão por esforço repetitivo (LER) ou distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) nos funcionários. Portanto quanto maior a força necessária para o fechamento desses lacres, maior a chance de ocorrência desses distúrbios nos operadores. Para oferecer um produto com qualidade e que não venha trazer problemas para os funcionários das empresas clientes, se faz necessário o controle da força necessária para o fechamento desses lacres (PLÁSTICOS PASQUALLI, 2010).

## **1.3 Objetivos**

Neste trabalho será desenvolvido um dispositivo de medição para a realização do controle estatístico da qualidade dos lacres plásticos produzidos na empresa. Esse dispositivo deverá ser capaz de fornecer a força máxima necessária para o fechamento dos lacres, bem como o armazenamento desses dados em um computador. O controle estatístico da força de fechamento dos lacres fornecerá dados importantes para um maior controle da qualidade do produto. Como, por exemplo, ao realizar a comparação dos valores obtidos das peças provenientes de uma determinada cavidade pode-se ter a indicação de possíveis erros/desgaste nessa cavidade do molde, dependendo dos valores obtidos.

## **1.4 Justificativa**

A qualidade, independente da área em que se atua, não deve ser vista pelas empresas simplesmente como um diferencial, mas sim, como um meio para antever problemas, evitando que ocorram, e, caso ocorram, deve-se solucioná-los. Com o mercado cada vez mais competitivo e as exigências do público cada vez maiores, é

de grande importância que as empresas se preocupem com a plena satisfação de seus clientes. Isso é possível ao melhorar continuamente seus produtos e processos para que, conseqüentemente, obtenham resultados acima do esperado (PAULA; ALVES; NANTES, 2016).

As ferramentas da qualidade auxiliam na estruturação de estratégias fundamentais para a geração de melhorias em seus produtos/processos e garantir a completa satisfação dos clientes. Para a realização do controle da qualidade, é necessário a gestão de documentos, os procedimentos descritos e registros correspondentes em conjunto a um controle sistemático do processo de produção. Esse último pode ser feito por meio de análises laboratoriais ou de observação e preenchimento de formulários (PAULA; ALVES; NANTES, 2016). Portanto, o objetivo geral deste projeto irá permitir o controle da qualidade de uma característica até então não controlada na empresa, a força mínima de fechamento dos lacres, permitindo melhorias na qualidade desses produtos.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO / FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Neste tópico serão abordados a fundamentação teórica dos assuntos tratados no trabalho. Primeiramente foi feito um estudo sobre os polímeros, equipamentos, parâmetros e problemas envolvidos no processo de injeção plástica. Após isso, é apresentado informações sobre os lacres plásticos produzidos pela Plásticos Pasquali. Em seguida, estão os estudos sobre as motivações do desenvolvimento deste trabalho (LER/DORT e CEP). Também foi feito um estudo sobre os sensores de força e placas de circuito eletrônico para o desenvolvimento do sistema de medição. E, por fim, as metodologias de projeto de produto empregadas.

### **2.1 Polímeros**

Do grego, polímero = poli (muito) + mero (unidade que se repete). Os meros se ligam através de ligações primárias e estáveis, para formarem um polímero (MANRICH, 2005). Conforme Mano e Mendes (1999) explicam, os meros ou monômeros são compostos que se repetem ao longo da cadeia e formam polímeros. Os polímeros são formados por ligações covalentes de repetidas unidades de meros (CANEVAROLO, 2006). Estes são compostos basicamente por átomos de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, flúor e elementos não metálicos (PADILHA, 1997). Mano e Mendes (1999) classificam os polímeros conforme mostrado na Figura 1.



Quadro 2 — Classificação de polímeros	
Critério	Classe do polímero
Origem do polímero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Natural</li> <li>• Sintético</li> </ul>
Número de monômeros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homopolímero</li> <li>• Copolímero</li> </ul>
Método de preparação do polímero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polímero de adição</li> <li>• Polímero de condensação</li> <li>• Modificação de outro polímero</li> </ul>
Estrutura química da cadeia polimérica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poli-hidrocarboneto</li> <li>• Poliamida</li> <li>• Poliéster</li> <li>etc</li> </ul>
Encadeamento da cadeia polimérica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seqüência cabeça-cauda</li> <li>• Seqüência cabeça-cabeça, cauda-cauda</li> </ul>
Configuração dos átomos da cadeia polimérica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Seqüência <i>cis</i></li> <li>• Seqüência <i>trans</i></li> </ul>
Taticidade da cadeia polimérica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isotático</li> <li>• Sindiotático</li> <li>• Atático</li> </ul>
Fusibilidade e/ou solubilidade do polímero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termoplástico</li> <li>• Termorrígido</li> </ul>
Comportamento mecânico do polímero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Borracha ou elastômero</li> <li>• Plástico</li> <li>• Fibra</li> </ul>

**Figura 1 - Classificação dos polímeros**

**Fonte: MANO; MENDES (1999)**

Polímeros termoplásticos ao serem aquecidos amolecem a ponto de se fundir, tornando-se líquidos. Assim podem ser conformados e moldados. Ao serem resfriados, voltam ao estado em um processo reversível. Além disso, devido a essas características, podem ser reprocessados várias vezes permitindo sua reciclagem (MANO; MENDES, 1999). Pode-se citar como exemplo: polipropileno, polietileno, policloreto de vinil, entre outros (CANEVAROLO, 2006).

Já os polímeros termofixos, termorrígidos ou termoendurecidos, são polímeros que possuem uma estrutura polimérica com intercruzamentos. O aumento da temperatura promove a decomposição desses materiais. Nesse tipo de polímero, ligações cruzadas unem as cadeias tornando-as insolúveis (MANO; MENDES, 1999). Esta classe de polímeros não permite a reciclagem, então, mesmo que seja submetido a novos processos de aquecimento, não acontecerá o amolecimento do material. Alguns exemplos são o epóxi (araldite), resina de fenol-formaldeído (baquelite), entre outros (CANEVAROLO, 2006).

### 2.1.1 Polipropileno

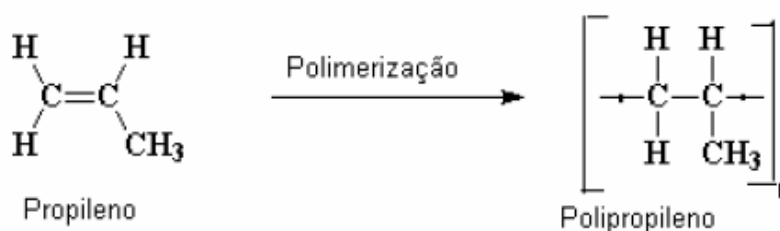
Os termoplásticos são muito utilizados no processo de injeção plástica e apresentam características próprias. A escolha do material plástico a ser utilizado

se faz conforme as propriedades desejadas para o produto final. Algumas das exigências para a obtenção do produto se referem às propriedades mecânicas, elétricas, químicas e óticas, estabilidade às intempéries e dimensional, comportamento eletrostático, transparência, brilho e preço (WEN; CÔRTEZ, 1990).

O polipropileno (PP) é um plástico versátil usado por diversas indústrias, tais como a de embalagens descartáveis e embalagens para alimentos. O PP também é utilizado na indústria têxtil, em fabricação de tampas de refrigerantes, lacres, potes para *freezer*, garrafões retornáveis de água mineral, etc. Além disso, é muito utilizado na indústria automobilística, como na produção de para-choques, painéis e revestimentos de automóveis (INVESTEXPORT, 2006). Segundo Manrich (2005) o polipropileno é um dos plásticos *commodities* de maior crescimento no Brasil.

Com o advento de novas tecnologias de polimerização e da ampliação da competitividade para gerar polímeros resistentes a intempéries, foram criados novos sistemas mais efetivos de estabilização do PP. Novos produtos disponíveis no mercado permitem a melhoria do PP, resultando em crescimento da produtividade e melhor estabilidade, que resulta na manutenção de suas propriedades de aplicação originais. (MANRICH,2005)

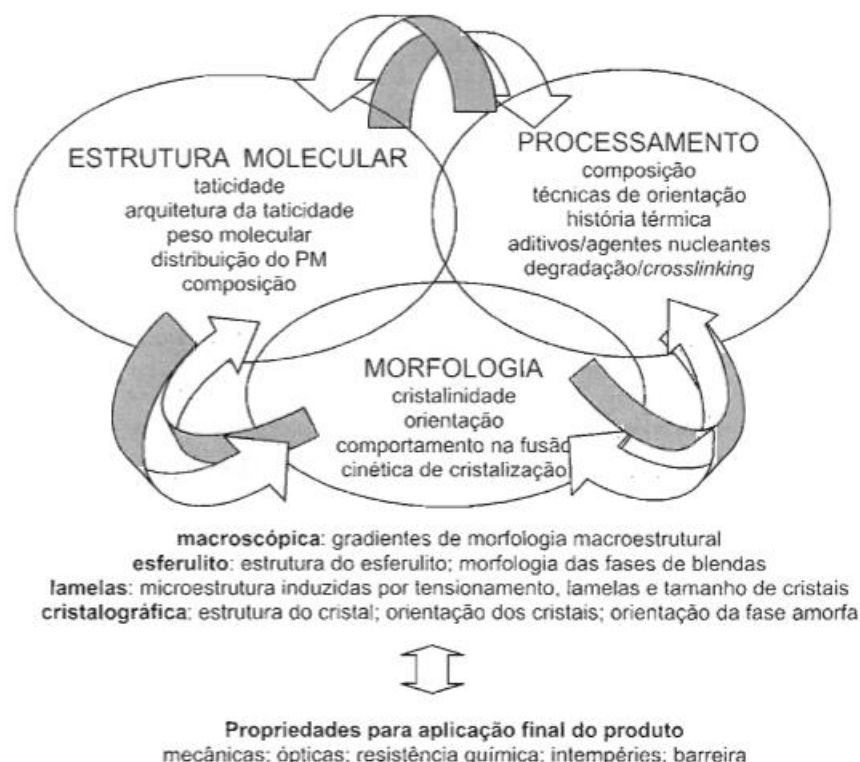
Utilizando o propileno como monômero, o PP é sintetizado por meio da reação de adição conforme mostrado na Figura 2 (MANO; MENDES, 1999).



**Figura 2 - Polimerização do propileno**

**Fonte: Autor.**

A estrutura e as propriedades do PP dependem de diversos fatores, que irão definir o uso final do polímero, conforme mostra o esquema a seguir:



**Figura 3 - Compromisso entre estrutura, processo, morfologia e propriedades de produtos acabados**

**Fonte: MANRICH (2005)**

Em geral, o polipropileno apresenta boa resistência a distorção pelo calor, excelentes propriedades elétricas, excelente resistência à flexão e fadiga, é quimicamente inerte, relativamente barato e baixa resistência à luz ultravioleta (CALISTER,1999). Existem diversos tipos de PP para diferentes aplicações, Manrich (2005) classifica eles conforme mostrado a seguir:

- PP homopolímero (a cadeia molecular é constituída apenas de propileno). Este tipo representa a estrutura mais simples e as faixas mais estreitas de propriedades;
- PP copolímero randômico (a estrutura molecular é constituída de propileno e, em torno de 6% em peso de eteno, distribuído aleatoriamente ao longo do comprimento da cadeia, bem como pode ter outros comonômeros inseridos ao longo da cadeia). Este polímero é

muito utilizado quando se deseja maior transparência, pois possui um grau de cristalinidade inferior quando comparado ao PP homopolímero

- Copolímeros resistentes ao impacto, (são constituídos de aproximadamente 40% em peso de borracha etileno-propileno, que forma uma fase bem distribuída na matriz de PP, sendo normalmente classificado como um homopolímero). Esse tipo de PP é largamente utilizado, quando a resistência ao impacto é requerida.

Tipo de PP	Módulo de Flexão [MPa]	Índice de Fluidiez [g/10min]	Impacto Izod com entalhe [J/m]	HDT [°C]	Dureza Rockwell R
Homopolímero	2 400 a 1 300	0,5 a 50	27 a 70	97 a 124	97 a 105
Copolímero Randômico	1 500 a 500	1 a 35	37 a 85	65 a 102	65 a 98
Copolímero Alto Impacto	1 300 a 800	1 a 35	55 a 650	72 a 117	40 a 90

**Figura 4 - Comparação de algumas propriedades em diferentes tipos de PP**

**Fonte: MANRICH (2005)**

Por conta do seu baixo custo, versatilidade e propriedades, o PP é um polímero altamente utilizado na indústria e conseqüentemente há muito interesse no desenvolvimento de pesquisas com este material (MACHADO, 2002). Este material é utilizado na fabricação dos lacres plásticos para linguiça produzidos na Plásticos Pasquali. O método de fabricação é por injeção plástica, conforme apresentado a seguir.

## **2.2 Injeção Plástica**

A moldagem plástica por injeção é o processo mais comum empregado na fabricação de termoplásticos (HARADA, 2008), isso por conta da rapidez do processo, diversidade, possibilidade de geometrias complexas e qualidade do produto (OLIVEIRA et al., 2004). O processo consiste em fundir o polímero, inicialmente em forma de grãos, no cilindro de uma máquina injetora. Ao passar para o estado líquido uma rosca sem fim faz com que o material entre nas cavidades do molde (GALDAMEZ; CARPINETTI, 2004). Dentre os materiais utilizados nesse tipo de processo estão o PP, ABS, nylon, poliestireno, policarbonato, acrílico, polietileno

(WEN; CÔRTEZ, 1990). Esta forma de fabricação permite a produção em larga escala de diversos produtos comerciais, por conta disso é muito utilizado na indústria automotiva, de embalagens, médica, entre outras. (SHACKELFORD, 2005). O polímero em estado líquido preenche toda cavidade do molde, confere o formato da peça, no processo de injeção (HARADA, 2008). Entre as características do processo de injeção se destacam as seguintes qualidades (WEN E CORTES 1990):

- Baixo custo de produção por produto;
- Alta taxa de produção;
- Processo pode ser automatizado;
- Os produtos podem ter diversas formas, tamanhos e cores;
- Possibilidade de reprocessamento das possíveis perdas de produtos, como galhos ou rejeitos.

### 2.2.1 Máquinas de Injeção

Para a aquisição de uma máquina de injeção é necessário, previamente, avaliar que tipo de molde será instalado na determinada máquina, que tipo de produto será injetado, quanto pesa, qual seu dimensional e que tipo de material (polímero) será usado (HARADA,2004). As maquinas de injeção são compostas por vários sistemas, conforme mostra a Figura 5.

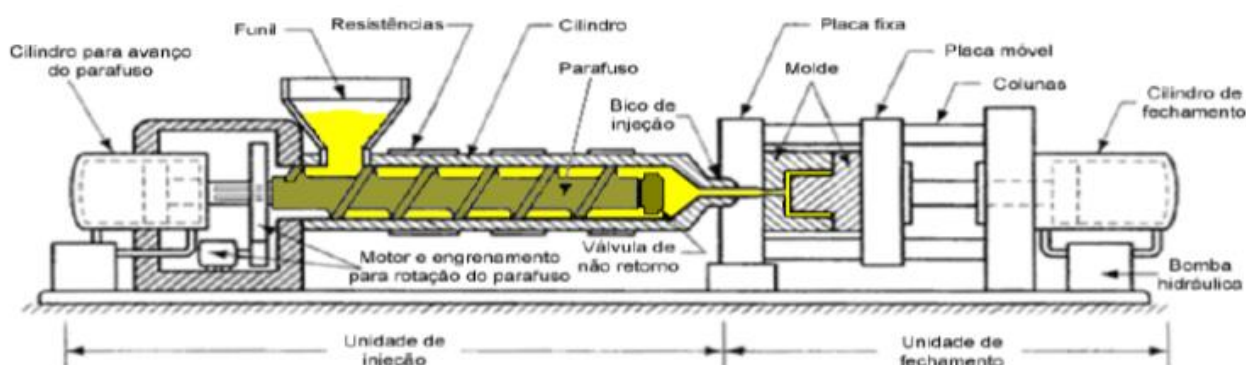


Figura 5 - Injetora com as unidades de injeção e fechamento

Fonte: SENAI – SP, (2006).

### **2.2.3 Problemas comuns na injeção plástica**

Algumas situações como, por exemplo, a falta de um correto ajuste e controle dos parâmetros de injeção, projeto inadequado do molde, falta de manutenção, desgastes, materiais inadequados, entre outros, podem fazer com que o processo de injeção plástica apresente problemas e produza peças insatisfatórias. Entre os defeitos mais comuns encontrados estão (HARADA, 2004):

- Injeção incompleta
- Marcas de fluxo
- Fragilização
- Superfície opaca, sem brilho
- Rebarbas, marcas de junção
- Batida das peças
- Refluxo, rechupe, pontos de contração, bolhas
- Manchas de queimado
- Aderência no bico ou na cavidade
- Marcas oblíquas, linhas prateadas, mica
- Manchas pretas ou degradação da cor
- Deformação ou contração excessiva
- Contaminação das peças plásticas

### **2.2.4 Sistema de injeção de câmara quente**

Um bom projeto de molde é fundamental para a aparência e as propriedades do produto final. Portanto, algumas características como, por exemplo, o tamanho e formato da peça desejada, o tamanho e capacidade da máquina injetora a ser utilizada e o número de cavidades do molde são fundamentais. Existem moldes de duas placas, de três placas, com partes móveis, com inserção metálica e com válvulas (WEN; CÔRTEZ, 1990).

O molde com sistema de câmara quente possibilita manter o canal de injeção em estado plástico de fusão controlada através de um conjunto de elementos eletromecânicos instalado nos moldes de injeção, é também conhecido como molde sem canais, devido ao fato do polímero que passa pelos canais de injeção e distribuição, não resfriarem a cada ciclo. A eliminação da necessidade de resfriar o polímero dentro desses canais pode ocorrer de duas formas (MANRICH,2005):

- Injeção direta, quando o polímero entra diretamente do bico da injetora para dentro da cavidade
- Injeção com câmara quente, onde o polímero passa através de canais quentes, não esfriando e entrando na cavidade final

Para injetar mais de uma peça por vez (múltiplas cavidades) são necessários canais que levem o polímero fundido até cada uma das cavidades. Esse sistema é utilizado em sistemas *multi-point* de injeção, conforme mostrado na Figura 6, onde em cada cavidade existe um bico de injeção com câmara quente possibilitando que o material complete a cavidade com propriedades reológicas e térmicas controladas, além de não haver a necessidade de canais de alimentação (MANRICH,2005).



Figura 6 - Exemplo de sistema de injeção câmara quente *multi-point* da Polimold

Fonte: Polimold (2019)

O sistema de câmara quente possui diversas vantagens em comparação com o método convencional (câmara fria). Entre elas pode-se destacar (MANRICH,2005):

- Redução da pressão de injeção nas cavidades;
- Possibilidade de preenchimento das cavidades com espessuras menores;
- Melhoria da qualidade do injetado;
- Redução de contrações e chupagens;
- Redução do volume de matéria prima necessário;
- Maior eficiência da injetora, podendo-se utilizar máquinas menores ou aumentar o número de cavidades para a mesma máquina;
- Equipamento de refrigeração de menor porte;
- Redução do custo de mão-de-obra direta por não haver canais de alimentação;
- Aumento da resistência mecânica das peças devido a eliminação das juntas frias;
- Peça com baixo nível de tensões internas, e conseqüente baixo encolhimento;
- Ciclos mais rápidos e precisos.

As injetoras de lacres para linguiça utilizadas na empresa Plásticos Pasquali possuem este sistema de injeção. Estes lacres estão apresentados a seguir.

### **2.3 Lacres plásticos para linguiça**

A empresa Plásticos Pasquali, produz diversos produtos em plástico injetado para a indústria frigorífica. Um desses produtos são os lacres plásticos para produtos embutidos, tais como linguiças, salsichas, salames, mortadelas, entre outros. Estes lacres são produzidos em material atóxico por serem da área de alimentos e possuem AUP (Autorização de Uso do Produto) fornecida pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Conforme mostrado na Figura 7, cada marca possui sua cor e logomarca estampada nestes lacres, permitindo a identificação dos



seus produtos nas prateleiras dos mercados e evitando a falsificação e utilização indevida da marca do produto (PLÁSTICOS PASQUALLI, 2010).



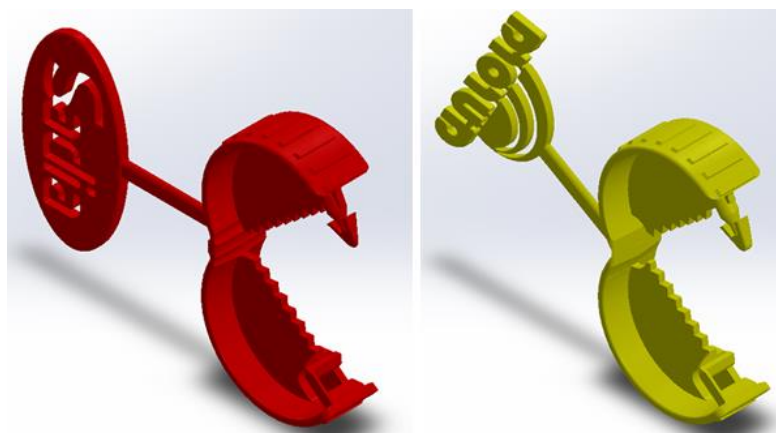
**Figura 7 - Lacs plásticos para linguíça**

**Fonte: LAZZARI, 2019.**

Cada fabricante de lacs para embutidos possui um formato de lace diferente para seus produtos. Em geral compreende um segmento poligonal com região articulável semelhante a uma mandíbula com pequenos dentes, em seguida possui uma haste cilíndrica onde no final se encontra um selo de identificação da marca de produtos embutidos. Algumas variações possuem selo de identificação diretamente ao segmento poligonal. O lace patenteado pela Plásticos Pasqualli, funciona de forma que ao fechar a mandíbula, um pino com cabeça cônica é inserido em um orifício de forma que esta cabeça se encaixe, sem a possibilidade de retorno, a não ser que se force a abertura do lace, ocorrendo o rompimento do pino e inutilização do lace (PLÁSTICOS PASQUALLI, 2010).

Caso o fabricante do lace deseje produzir para diferentes clientes de embutidos, o molde de injeção pode ser feito com a parte referente à modelagem do selo contendo os dizeres da marca a ser impressa cambiável. Dessa forma, é possível fabricar lacs para diversas marcas diferentes sem tornar o processo de fabricação muito oneroso (PLÁSTICOS PASQUALLI, 2010).

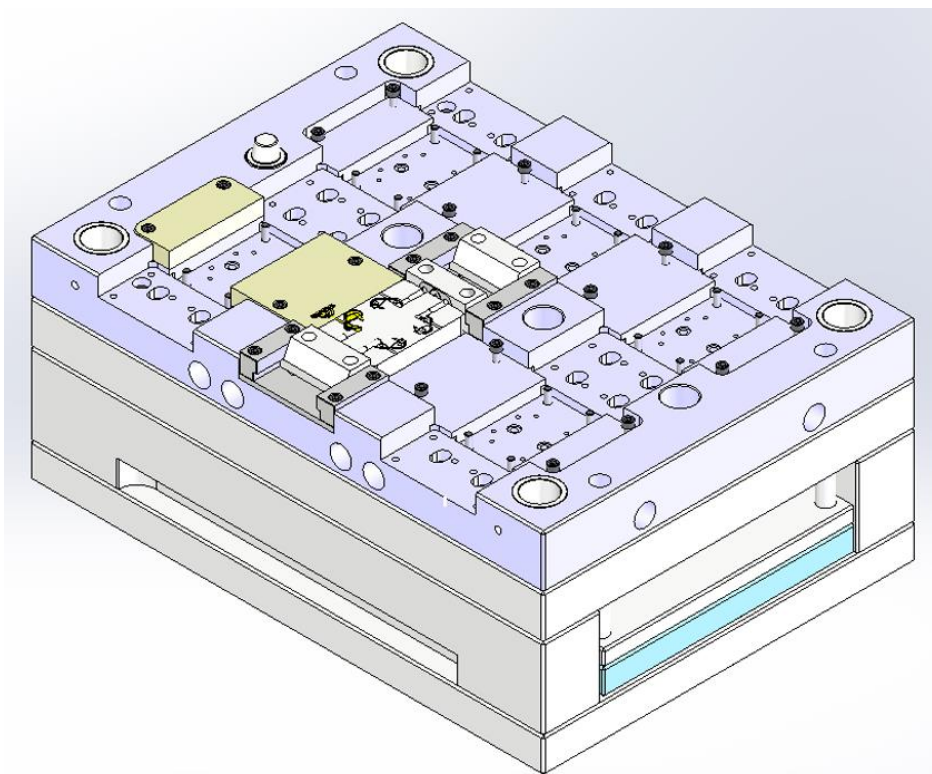
A Figura 8 ilustra o formato de lacre produzido na empresa Plásticos Pasquali, para o qual o dispositivo de medição da força de fechamento está sendo projetado.



**Figura 8 - Exemplo de lacres produzidos pela Plásticos Pasquali**

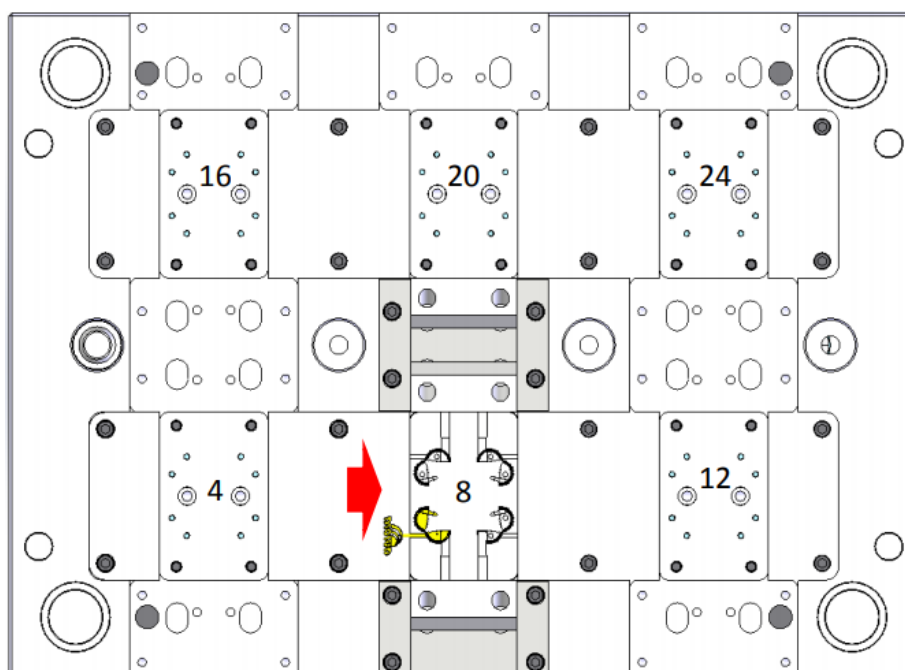
**Fonte: LAZZARI, 2019.**

A empresa utiliza moldes com insertos, contendo o selo de identificação de marca cambiável. A Figura 9 mostra a localização dos insertos, em destaque no molde. Cada molde possui 24 cavidades onde o PP é injetado, utilizando o sistema de câmara quente *multi-point*, conforme disposto na Figura 10 (LAZZARI, 2019),



**Figura 9 - Molde de injeção de lacres utilizado na Plástico Pasquali**

Fonte: LAZZARI, 2019.



**Figura 10 - Vista superior do desenho do molde de 24 cavidades**

Fonte: LAZZARI, 2019.

## **2.4 Lesão por esforço repetitivo em operadores**

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 14280, as doenças ocupacionais podem ser divididas em doenças do trabalho e doenças profissionais. De acordo com a secretaria de políticas de saúde, lesões por esforços repetitivos (LER) e distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) referem-se a distúrbios e/ou doenças do sistema musculoesquelético causadas comprovadamente ou não pelo trabalho realizado por uma pessoa. Esses distúrbios ocorrem principalmente em membros superiores e pescoço (BRASIL, 2000).

Os casos de LER e DORT têm aumentado por conta de fatores como a inflexibilidade, alta intensidade do ritmo de trabalho, execução de muitos movimentos repetitivos, sobrecarga de determinados grupos musculares, ausência de controle sobre o modo e ritmo de trabalho, falta de descanso/pausas, alta exigência de produtividade e falta de equipamentos ergonômicos. Esses fatores são comumente encontrados nas empresas, gerando diversos problemas (BRASIL, 2000).

A LER e DORT estão entre as principais doenças relacionadas ao trabalho nos últimos anos, utilizando dados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (Sinan), o ministério da saúde aponta que, entre os anos de 2007 e 2016, 67.599 casos de LER/DORT foram notificados à pasta. Neste período, o total de registros cresceu 184%, passando de 3.212 casos, em 2007, para 9.122 em 2016. Além disso, em 2013 o IBGE constatou que 3.568.095 trabalhadores disseram ter tido diagnóstico de LER/DORT (DÉBORA, 2016).

Segundo Mukhopadhy e Srivastava (2010), os problemas clínicos gerados por esses distúrbios propiciam redução da qualidade de trabalho e da produtividade, além de poderem ser motivos para ações judiciais contra as empresas.

## **2.5 Controle estatístico do processo**

De acordo com Taguchi, um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente às especificações, atingindo o valor alvo com a menor variabilidade possível em torno dele. Montgomery (2004) define que qualidade é inversamente proporcional a variabilidade, e a melhoria da qualidade é a redução da variabilidade nos processos e produtos.

O Controle Estatístico de Processo (CEP) é um método preventivo de se comparar continuamente, por amostragem, os resultados alcançados por um processo com padrões. O CEP identifica, a partir dos dados estatísticos, as tendências para variações significativas em determinadas causas, que não são naturais ao processo, e que podem prejudicar a qualidade do produto manufaturado. Dessa forma é possível eliminar/controlar essas variações, ou seja, uma vez identificadas as causas, pode-se atuar sobre elas, permitindo a redução sistemática da variabilidade nas características da qualidade de interesse. Isto contribui para a melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, da confiabilidade e do custo do que está sendo produzido.

Todo processo industrial apresenta alguma variabilidade, que é definida pela sua causa, podendo ser comum ou especial. As causas comuns são variações que afetam normalmente todos os valores individuais de um processo e são resultantes de diversas origens. Já as causas especiais são fatores que geram variações, que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível, este evento, que ocorre uma vez ou ocasionalmente, em períodos irregulares, não sendo possível obter um padrão (RAMOS, 2000). Segundo RIBEIRO (2012), o resultado da variabilidade pode ser causado por diversos fatores como:

- a) pequenas diferenças peça-a-peça (habilidade do operador, diferenças na matéria-prima etc.)
- b) alteração gradual no processo (desgaste de ferramentas, temperatura do dia etc.)
- c) alteração brusca no processo (mudança de procedimento, queda de corrente, troca de set up etc.).

### **2.5.1 Implantação do CEP**

Primeiramente deve-se identificar os processos críticos para a qualidade e produtividade da empresa, após isso deve se aplicar o CEP nas etapas prioritárias desses processos associados a estratégias de ações, levando em conta (RIBEIRO, 2012):

- Características de qualidade importantes para o cliente;
- Processos nos quais as características determinadas são construídas;

- Variáveis a serem controladas em cada processo;
- Capacidade do sistema de medição;
- Indivíduos responsáveis pela ação sobre o sistema quando este sinalizar um estado de descontrole estatístico;
- Ações a serem tomadas quando o sistema estiver fora de controle.

Para realizar a coleta de dados deve-se definir:

- O tamanho da amostra
- A frequência de amostragem
- A forma de registro dos dados
- O sistema de medição a ser utilizado
- Quem irá coletar os dados
- Qual o tipo de carta de controle

Após a coleta de uma certa quantidade de dados, é possível realizar o cálculo dos limites de controle. Essa etapa pode levar alguns dias dependendo da frequência e tamanho da amostragem. Com isso feito, pode-se então fazer o acompanhamento e consolidação do CEP. Conforme RIBEIRO (2012) diz, isto ocorre nas seguintes etapas:

- Avaliação da sistemática de ação – análise e aprimoramento do sistema de controle do processo implantado através da verificação dos procedimentos de coleta de dados, registro e ação de melhorias.
- Análise da estabilidade dos processos – avaliação da estabilidade dos processos
- Análise da capacidade do processo – avaliação da capacidade dos processos e, caso seja necessário, realizar estudos de otimização dos processos através de grupo de ação de melhorias da qualidade.

A escolha do tipo de carta de controle a ser utilizada depende de vários fatores como a variabilidade dos dados, tamanho e frequência das amostras e os tipos de

variáveis (RIBEIRO, 2012). O fluxograma a seguir auxilia na escolha do tipo de carta de controle a ser utilizada.

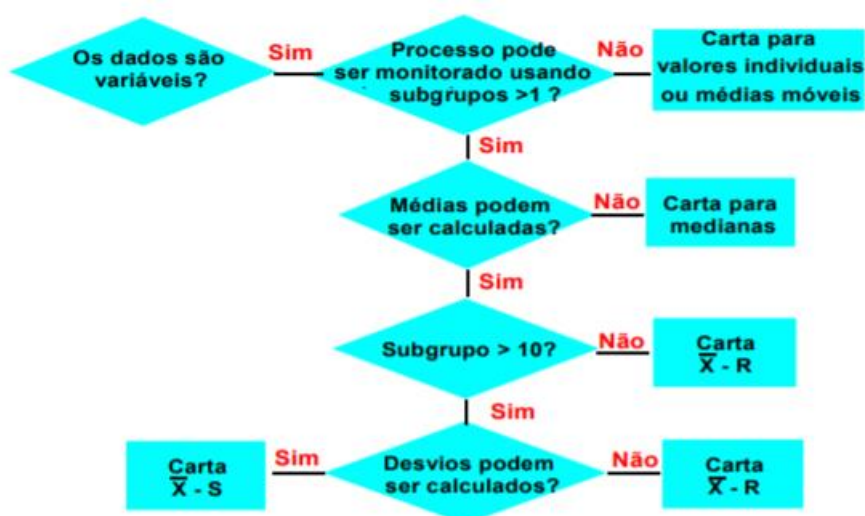
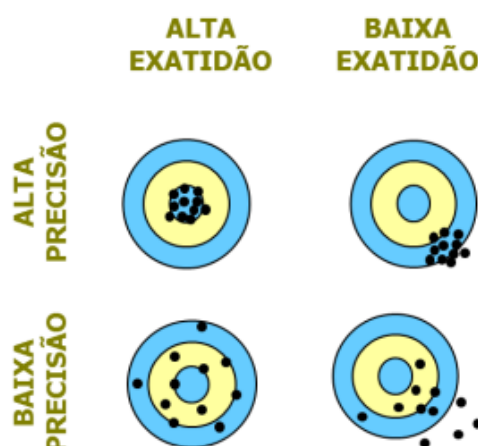


Figura 11 - Fluxograma de apoio para escolha das cartas de controle  
Fonte: RIBEIRO (2012) pg. 79 fig. 67

### 2.5.2 Sistemas de medição

A obtenção dos dados é uma etapa fundamental no controle estatístico do processo, por isso a utilização de um sistema de medição adequado é extremamente importante. Ao utilizar um sistema de medição deve-se atentar com sua discriminação, ou seja, com a sua capacidade de detectar pequenas mudanças na característica em estudo. Além disso, os sistemas de medição podem ser analisados quanto a sua (RIBEIRO, 2012):

- a) Estabilidade: refere-se ao seu desempenho ao longo do tempo, uma mesma peça medida duas vezes em tempos diferentes apresenta variações em suas medições (calibragem, operador, temperatura, umidade, etc.). A estabilidade pode ser verificada utilizando uma amostra padrão.
- b) Precisão e exatidão: Exatidão refere-se à centralização e precisão refere-se à variabilidade em torno de um valor, conforme ilustrado na Figura 12.



**Figura 12 - Comparação entre exatidão e precisão**

Fonte: RIBEIRO (2012)

- c) Tendência: Tendência = média observada - valor de referência, onde a média observada é aquela advinda de um conjunto de leituras feitas pelo dispositivo ou operador a ser avaliado e o valor de referência é o valor teoricamente correto, obtido no laboratório de metrologia.
- d) Linearidade: verifica o desempenho do dispositivo ao longo de toda a sua faixa de uso. Diversas vezes a utilização do dispositivo de medição é feita em uma ampla faixa, deve-se garantir que este esteja calibrado e funcionando adequadamente do início ao fim da faixa. O estudo da linearidade permite revelar se a tendência observada nos valores medidos é ou não função da magnitude do valor medido.
- e) Repetitividade: Quando se mede a mesma peça com o mesmo dispositivo, mesmo operador e nas mesmas condições, deve-se ter uma boa repetitividade dos valores encontrados, ou seja, as diferenças entre as leituras devem ser pequenas.
- f) Reprodutibilidade: refere-se a diferenças que podem existir quando as medições são feitas por diferentes operadores, em geral isso ocorre devido a procedimentos específicos adotados por cada operador.



## 2.6 Sensores de força

Para se obter eletronicamente, o valor de uma determinada força, é necessário o uso de um sensor de força. Esses sensores basicamente funcionam transformando a deformação elástica que ocorre no material, durante a aplicação de determinada força, em uma corrente elétrica possibilitando sua mensuração. Para isso, normalmente são utilizados cristais piezoelétricos ou extensômetros. (KLECKERS, 2019)

### 2.6.1 Células de carga com extensômetro

O extensômetro ou *strain gauge* é um sensor que é colocado na superfície de uma peça, responsável por medir a deformação elástica diante da aplicação de um carregamento. Conforme mostra a Figura 13, quando contraído, o material deformável não se torna apenas menor, mas também mais espesso. Por outro lado, à medida que é esticado, se torna mais fino, assim como o extensômetro fixo ao material. Conseqüentemente, o extensômetro também sofre estas alterações, resultando em uma mudança na resistência nos seus condutores elétricos.

A deformação do material depende diretamente das suas propriedades, dimensões e forma, portanto, isso deve estar de acordo com as forças que serão medidas. Numa aplicação que serão medidas grandes forças, o sólido que recebera o extensômetro deve ser mais robusto para que não ocorra a deformação plástica, o que danificaria permanentemente o dispositivo. (KLECKERS, 2019)

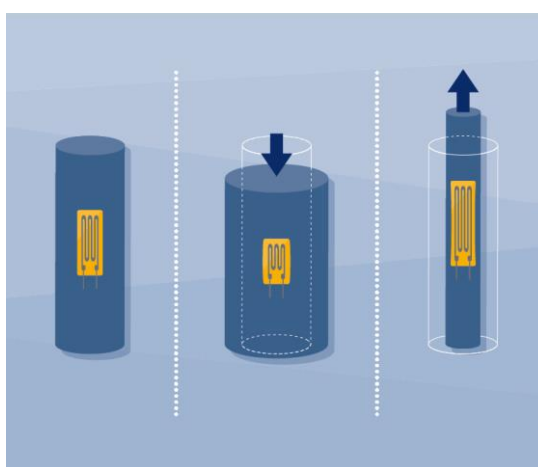


Figura 13 – *Strain gauge* ou extensômetro

Fonte: KLECKERS, (2019)

De modo geral, se um extensômetro é contraído, sua resistência elétrica ( $\Omega$ ) diminui, se é esticado, a resistência aumenta. A mudança relativa na resistência é proporcional à deformação, portanto, com o processamento matemático desse sinal, consegue-se obter o valor da força aplicada (GUILHERME, 2016).

## 2.7 Placa de circuito eletrônico Arduino

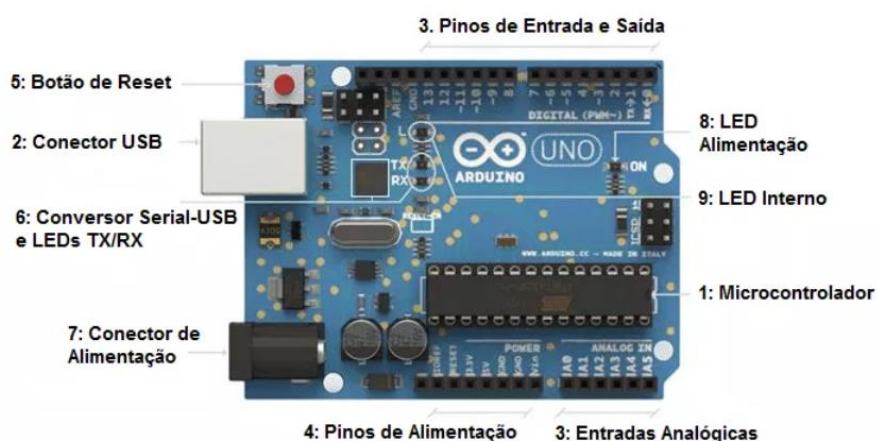
O Arduino é uma plataforma aberta (*open source*) de prototipagem, baseada em uma placa com simples entradas e saída (*input/output*) e um ambiente desenvolvido que implementa e processa linguagens. É composto pelo *Hardware* (Arduino Uno, Mega uno, Leonardo, etc.) e uma IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) aonde você pode escrever o seu código em linguagem C/C++ e a própria IDE fará todo o processo de compilação e transferência do código do seu computador para o micro controlador da placa (USINA INFO, 2019). O Arduino possui uma possibilidade de utilização de uma quantidade enorme de periféricos, como sensores que podem utilizados nos projetos. Grande parte destes periféricos, está disponível em módulos, que são pequenas placas que contém os sensores e outros componentes auxiliares como resistores, capacitores, LEDs, etc. Existem também os chamados *Shields*, que são placas que vão encaixadas no Arduino para expandir suas funcionalidades. A escolha do modelo a ser utilizado depende do projeto a ser desenvolvido e o número de portas necessárias. As opções vão das mais simples, como o Arduino Uno, com 14 portas digitais e 6 analógicas, até as placas com maior poder de processamento, como o Arduino Mega, com micro controlador ATmega2560 e 54 portas digitais (THOMSEN, 2014). O Quadro 1 a seguir mostra as principais especificações do modelo UNO R3.

**Quadro 1 - Especificações técnicas do Arduino uno R3**

Micro controlador	ATmega328
Tensão de operação	5V
Tensão de alimentação	7-12V
Tensão de alimentação (limite)	6-20V
Entradas e saídas digitais	14 das quais 6 podem ser de Pulse Width Modulation
Entradas analógicas	6
Corrente contínua por pino de I/O	40 mA
Corrente contínua para o pino 3.3V	50 mA
Memória Flash	32 KB (ATmega328) dos quais 0.5 KB são usados pelo bootloader
Memória SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Velocidade do Clock	16 MHz
Dimensões	68,58mm x 53,34mm
Peso	150g

Fonte: USINA INFO (2019)

Seus componentes são distribuídos conforme a Figura 14 a seguir.

**Figura 14 - Placa Arduino uno R3**

Fonte: USINA INFO, (2019)

## 2.8 Incertezas de medição

O objetivo geral de uma medição é determinar um valor numérico para representar a grandeza que se quer medir, formalmente chamada de mensurando (INMETRO, 2000). O resultado de uma medição é apenas uma estimativa do valor do mensurando. Pois, as medições são influenciadas por fatores internos e externos, fazendo com que seus resultados variem sob a ação dessas influências. Os erros presentes nas medições podem ter origem de fatores sistemáticos ou aleatórios. O primeiro, aparece de forma intermitente nas medições, e por conta disso são facilmente detectados e reduzidos ou eliminados. Já os erros aleatórios, sempre estão presentes nas medições e na maioria das vezes são de difícil detecção, mas podem ser minimizados melhorando o processo de medição e aumentando o número de repetições na coleta das amostras do mensurando. Portanto, quando uma medição é bem executada tem-se uma boa estimativa para a variabilidade dos resultados, devendo esta variabilidade ser adequada quando comparada ao valor obtido para o mensurando. Por conta disso, é necessário acrescentar alguma assertiva sobre a confiança associada ao fato de os resultados estarem dentro dos limites estabelecidos (LIMA, 1999).

A incerteza de medição é um parâmetro relacionado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que poderiam ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. As incertezas de medição podem vir de diversos fatores, como, I Erros geométricos, II Estabilidade do Sistema Medição, III Resolução do sistema, IV Influência das condições ambientais sobre o sistema de medição, V efeitos da temperatura sobre o mensurando, VI Deformação Elástica do mensurando, etc. (LIMA, 1999).

Para calcular a incerteza de uma medição, a metodologia atualmente recomendada estabelece que a incerteza deva ser expressa por um valor que estime o desvio padrão de uma variável aleatória, representando os infinitos valores que podem ser atribuídos ao resultado de uma medição. A estimativa do desvio padrão é chamado incerteza padrão ( $u$ ). Para determiná-la existem duas categorias de incerteza que se caracterizam em função do método utilizado para estimar seu valor numérico, a incerteza padrão avaliada pelo método Tipo A e a incerteza padrão avaliada pelo método Tipo B. A incerteza padrão avaliada pelo método Tipo A é

obtida pela análise estatística de uma série de observações. O ponto médio destes valores, chamado média amostral ou simplesmente média, corresponde à estimativa do mensurando, enquanto que a raiz quadrada da variância experimental, corresponde a incerteza padrão associada ao estimador (LIMA, 1999). As formulas utilizadas no cálculo destes parâmetros estão no Quadro 2 a seguir.

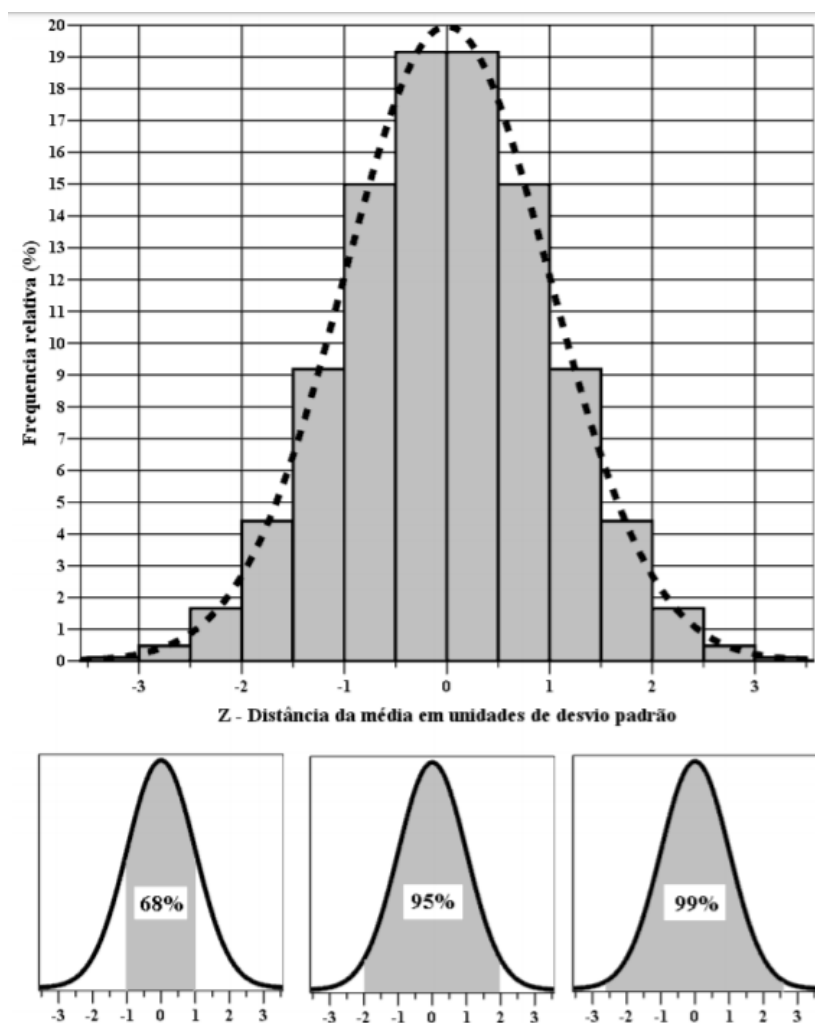
**Quadro 2 - Estimadores e parâmetros populacionais de uma amostra de  $n$  medições**

Parâmetro	Medida Populacional	Estimador Amostral
Média	$\mu$	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$
Desvio Padrão	$\sigma$	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$
Variância	$\sigma^2$	$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$

Fonte: (LIMA,1999)

O desvio padrão é uma maneira de medir a variabilidade de um conjunto de dados. Quanto maior for a flutuação estatística dos dados e quanto maior for sua imprecisão, maior será o desvio padrão. Assim, o desvio padrão é um elemento chave na avaliação da confiabilidade de dados experimentais (LIMA, 2012).

Uma maneira de aumentar a confiabilidade dos resultados é aumentar o tamanho da amostra a ser analisada, isso reduz flutuações estatísticas e dilui possíveis erros durante a medição, porém muitas vezes não é viável a tomada de centenas de medições. Para solucionar isso, é possível imaginar distribuições de frequência utilizando distribuições consagradas na literatura e para quais é razoável admitir que os dados a serem medidos pertençam. Dentre elas, a mais importante é a distribuição normal (também chamada distribuição gaussiana) conforme mostra a Figura 15. Para um número suficientemente grande de observações, o conjunto das médias dessas observações se distribui de acordo com a distribuição normal. Por isso, é usual pressupor que estamos lidando sempre com variáveis normalmente distribuídas (LIMA, 2012).



**Figura 15 - Histograma representando uma distribuição gaussiana**

**Fonte: LIMA, 2012.**

Como pode-se observar, numa distribuição gaussiana, o intervalo  $(\bar{x} \pm S_x)$  compreende 68% da distribuição. Igualmente, o intervalo  $(\bar{x} \pm 2S_x)$  compreende 95% da distribuição e o intervalo  $(\bar{x} \pm 2,5S_x)$  a 99%. Portanto, ao realizar uma nova medição nas mesmas condições, esses valores correspondem a probabilidade de o valor estar dentro do intervalo estabelecido (LIMA, 2012).

## 2.9 Metodologias de desenvolvimento de projetos

A utilização de metodologias, auxilia no desenvolvimento de um novo produto, minimizando possíveis erros no processo. A seguir está um estudo das principais metodologias utilizadas no desenvolvimento deste projeto.

### **2.9.1 Projeto informacional**

Conforme Romeiro et al. (2010), o desenvolvimento de produto e do projeto do produto são atividades complexas, muitas vezes com informações incompletas e mal estruturadas. Estes são alguns problemas que os desenvolvedores de produtos enfrentam, quando as necessidades do mercado consumidor não estão bem definidas.

A fase informacional do projeto é de fundamental importância para o início de um novo projeto. É nesta etapa que se define a ideia geral do produto. Para isso, é feita toda a busca de informações necessárias para o planejamento do desenvolvimento do produto, como, a geração/seleção de ideias iniciais, análise de soluções existentes/produtos similares, identificação dos usuários, análise de tecnologias existentes, necessidades dos clientes, etc. (BACK,2013).

#### **2.9.1.1 Levantamento das necessidades dos usuários**

Para descobrir o que os consumidores esperam de determinado produto, é necessário a pesquisa das suas necessidades. Essa etapa é a mais crítica de todo processo de criação de um novo produto, pois é a partir disso que serão determinadas as características que o produto deve atender, as demais atividades e decisões são decorrências. As necessidades dos clientes podem ser descobertas através do uso de questionários, amostragem entrevistas, pesquisa quantitativa e/ou qualitativa, etc. (BAXTER, 2000). Essas necessidades são, geralmente, expressas numa linguagem natural e livre dos consumidores, sem nenhuma padronização de termos e classificações (BACK,2008).

#### **2.9.1.2 Requisitos do usuário**

Após a coleta das necessidades dos usuários, estas devem ser transformadas, resumidas, agrupadas e classificadas numa linguagem apropriada para expressar atributos de qualidade do produto que são denominados de requisitos do usuário. Quando transforma-se e desdobra-se os requisitos dos usuários, atribuindo dimensões aos mesmos, tem-se como resultado, os requisitos de projeto (BACK,2008).

### **2.9.1.3 Especificações de projeto**

As especificações de projeto são definidas por Back (2008), como a atribuição de grandezas mensuráveis a um atributo ou qualidade de um produto, onde este conjunto de atributos possuem modos e grandezas para a avaliação de conformidades estabelecidas, bem como prioridades de atendimentos. Essas especificações de projeto são o ponto de partida para a concepção do produto e o meio de verificar se o projeto atende ou não às necessidades do usuário.

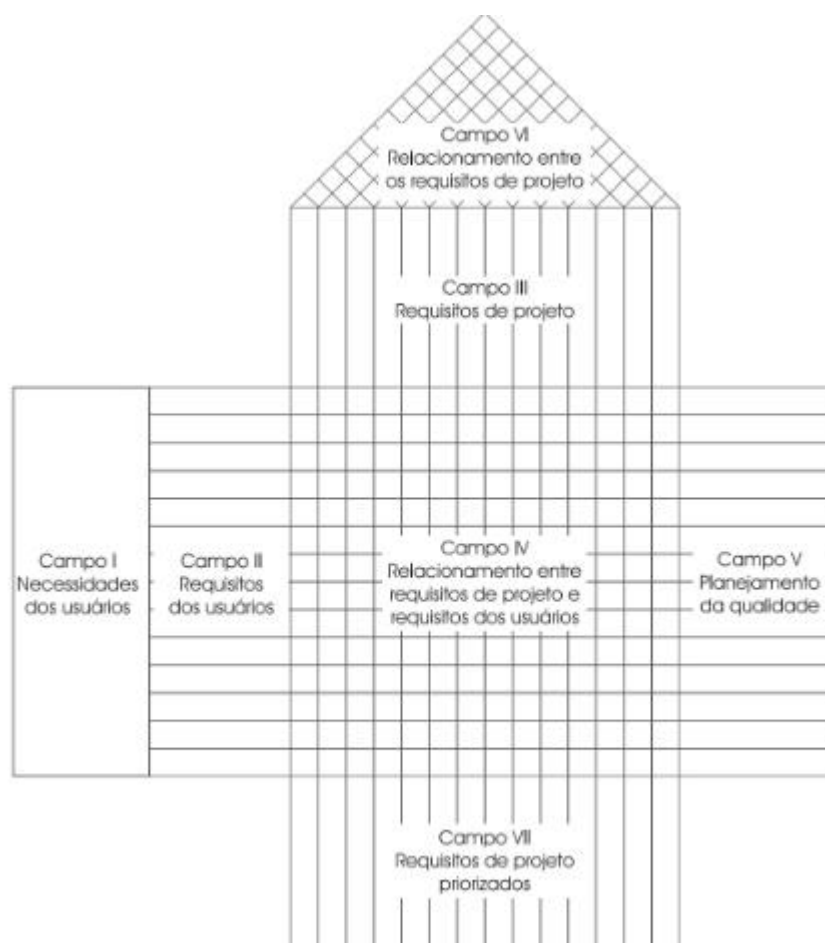
No processo de elaboração das especificações de projeto, são utilizadas algumas metodologias para evitar que essa etapa fique incompleta ou superdimensionada. Baseando-se na identificação, avaliação, quantificação, priorização e documentação das necessidades dos usuários, o uso de um procedimento sistemático, permite uma definição progressiva das especificações de projeto, para que estas expressem o que o produto deverá fazer (BACK,2008).

Uma das metodologias mais utilizadas é o desdobramento da função qualidade ou QFD que será apresentado a seguir.

### **2.9.1.4 Método do desdobramento da função qualidade (QFD)**

Apresentado por Akao (1990), no fim dos anos 1960, o QFD consiste num método fundamentado na preocupação de que os produtos devem ser projetados para refletir os desejos, gostos e expectativas dos usuários. No método completo são utilizadas quatro matrizes, mas, para o objeto deste trabalho, adotaremos somente a primeira matriz, conhecida como a casa da qualidade, conforme mostra a Figura 16 (BACK,2008).





**Figura 16 - Casa da qualidade**

**Fonte: BACK (2008)**

Após a sistematização e valoração dos requisitos dos usuários (Campo II) a partir das necessidades dos usuários (campo I), a equipe de desenvolvimento inicia a tarefa que trata do estabelecimento das características de engenharia do produto ou requisitos de projeto (campo III), que são os atributos do produto que podem ser manipulados (modificados, retirados, incluídos, ampliados, diminuídos etc.) para satisfazer os requisitos dos usuários. Estes requisitos são avaliados quanto aos seus relacionamentos no telhado da casa da qualidade (Campo VI), indicando se são conflitantes, concordantes ou independentes entre si, e possibilitando verificar quais as implicações da alteração de determinado atributo do produto em relação a cada requisito de projeto (BACK,2008).

No campo central da casa da qualidade está a análise dos requisitos de projeto e dos requisitos de usuários (campo IV), onde ocorre a interseção entre linhas e colunas da matriz. Cada interseção corresponde a um relacionamento entre um requisito de projeto e um requisito de usuário. Os valores designados para o relacionamento podem ser quantitativos ou qualitativos. Esses valores são um indicativo de quanto cada necessidade do usuário afeta ou é afetada por um dado parâmetro de engenharia. Isso possibilita quantificar outras informações na casa da qualidade, como a importância dos requisitos de projeto. Efetuando o somatório em cada coluna dos requisitos de projeto, tem-se uma ordenação de prioridade dos requisitos de projeto de acordo com a importância atribuída pelo usuário às suas necessidades e com a taxa de melhoramento pretendida pela empresa. Com isso são definidos os requisitos de projeto priorizados (campo VII) (BACK,2008).

No Campo V estão o plano de qualidade, ou o valor meta atribuído, para dado requisito do usuário, que determina até onde a empresa pretende chegar para satisfazê-lo. Isso depende de uma série de fatores, incluindo as próprias políticas da empresa (BACK,2008).

Após a montagem da casa da qualidade são definidas as especificações de projeto, onde é descrito o que o produto deve fazer, de forma que seja propriamente detalhada, não composta, apropriada ao entendimento do destinatário, viável tecnicamente e economicamente, com interpretação única, documentável, acessível, rastreável, priorizável, consistente, verificável e quantificável (BACK,2008).

### **2.9.2 Projeto conceitual**

Após realizar as tarefas de pesquisa de informações, a definição do produto a ser desenvolvido e definir as especificações de projeto na etapa informacional, o próximo passo é o desenvolvimento de soluções para o produto. Nesta fase se busca o entendimento/descrição do problema na forma funcional, quantitativa e qualitativa, formalizando a tarefa do projeto. Ao final desta etapa temos uma concepção que atende a todos os requisitos dos usuários previamente identificados.

Nessa etapa algumas metodologias são utilizadas para auxiliar no processo de geração de soluções. Alguns destes métodos serão detalhados a seguir.

### **2.9.2.1 Método morfológico para geração de concepções**

Criado por Fritz Zwicky, o método morfológico amplia as possibilidades de combinações e recombinações que o trabalho criativo exige, possibilitando uma análise sistemática de todas as combinações possíveis para o projeto. Nem sempre a solução surge dentro da mesma matriz, mesmo assim, ela funcionará como um impulso inicial, um registro de combinações possíveis, servindo como base para ideias futuras. Na construção da matriz morfológica são utilizados dados da etapa informacional do projeto (sub funções). Este procedimento deve ser utilizado durante a etapa conceitual de um novo produto (BAXTER, 2000).

A utilização deste método necessita de uma identificação correta de um conjunto de parâmetros, independentes entre si e que sejam essenciais para a obtenção de soluções. Esses parâmetros devem abranger todo escopo do problema porem não devem ser excessivamente numerosos (BAXTER, 2000).

A matriz morfológica, conforme mostrado no Quadro 3, consiste de uma tabela onde são listadas as funções necessárias no produto a ser projetado. Ao lado dessas funções, são citadas em forma de esboço, as soluções possíveis para que cada função seja atendida. O método permite visualizar as diversas possibilidades em estudo, favorecendo ainda o surgimento de concepções inovadoras obtidas, por exemplo, através da interação entre dois ou mais princípios.

Quadro 3 - Matriz morfológica

MATRIZ MORFOLÓGICA					
Subfunções		Princípios de funcionamento			
		1	2	.....	N
A	Descrição da subfunção A	Esboço de uma possível solução para a subfunção A	Esboço de uma possível solução para a subfunção A	..... ..	Esboço de uma possível solução para a subfunção A
..	.....	.....	.....	.....	.....
..	.....	.....	.....	.....	.....
..	.....	.....	.....	.....	.....
..	.....	.....	.....	.....	.....
Z	Descrição da subfunção Z	Esboço de uma possível solução para a subfunção Z	Esboço de uma possível solução para a subfunção Z	..... ....	Esboço de uma possível solução para a subfunção Z

Fonte: Elaborada pelo autor.

Muitas das combinações podem ser eliminadas de imediato por não serem compatíveis ou viáveis, mas as viáveis devem ser submetidas a um processo mais criterioso de avaliação e valorização que será detalhado a seguir (BACK,2008).

#### 2.9.2.2 Avaliação das concepções

A seleção da melhor concepção de um produto no projeto conceitual é muito difícil, a escolha feita nesta etapa será fundamental para o restante do projeto do produto. Nessa etapa, as informações sobre as concepções alternativas geradas na matriz morfológica estão em um estado inicial muito abstrato, esquemático e incompleto. Por conta disso, é importante o uso de uma metodologia para garantir que a concepção escolhida seja a mais adequada ao projeto (BACK, 2008).

Nessa etapa, o desenvolvedor do produto possui diversos critérios relacionados ao desempenho do produto que serão utilizados para escolher a melhor solução para o projeto. Porém, não é necessário avaliar todas as influências que o mercado possa influenciar sobre ele. Se faz necessário uma metodologia para que se avaliem somente alguns aspectos relacionados ao desempenho do produto e não todas as influências que o mercado possa exercer sobre ele. Assim, a avaliação de concepções fornece um método sistemático capaz de avaliar as concepções formuladas sob diversos aspectos, de forma a obter a melhor concepção para a resolução do problema evitando ao máximo perdas na qualidade do novo produto desenvolvido (PAHL & BEITZ, 1996).

O método é baseado em duas etapas distintas, uma destinada à seleção das melhores concepções de acordo com critérios quantitativos previamente estabelecidos e outra destinada a identificar a melhor concepção com critérios qualitativos (OTTO et. al., 2001).

A primeira etapa da avaliação de concepções faz uso do método de Pugh (1991) que consiste em uma matriz onde são avaliados critérios generalizados em relação às concepções geradas durante o processo de desenvolvimento do projeto.

Portanto esta etapa auxilia de forma qualitativa a avaliação das concepções (Ullman, 2002). A segunda etapa do processo consiste em uma análise das características quantitativa o produto.

Para esta avaliação, pode-se utilizar a matriz de Pugh modificado. Neste método, um quadro mostra na primeira coluna, os requisitos de projeto, na segunda, o grau de importância de cada especificação, e nas outras colunas, cada uma das N concepções geradas na etapa anterior a serem avaliadas. Estas concepções são analisadas com base nos requisitos de projeto em relação a uma referência. Quando um número é positivo representa que a concepção que está sendo avaliada é melhor, em determinado item, que a referência. Caso contrário, o número é negativo. No caso de ocorrer uma equivalência entre as soluções, ela recebe o sinal de (0). A concepção que receber o maior somatório entre todas, será considerada a com maior potencial de implementação e com maiores chances de alcançar os objetivos do projeto. Conforme mostrado no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Método de Pugh modificado.

Requisitos de projeto	Grau de importância	(Referência)	Concepção 2	Concepção 3	Concepção 4	Concepção ...	Concepção N
Critério 1	x	0	0	0	-x	x	-x
...	....	0	...	....	...	...	...
Critério N	y	0	y	0	-y	y	0
<b>Resultado final</b>		<b>0</b>	<b>Somatório da coluna</b>	<b>Somatório da coluna</b>	<b>Somatório da coluna</b>	<b>Somatório da coluna</b>	<b>Somatório da coluna</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com isso, os métodos de avaliação de concepções propiciam uma diminuição do tempo e dos custos do desenvolvimento do projeto, proporcionando soluções viáveis para os problemas identificados no mercado (BACK,2008).

### 2.9.3 Projeto preliminar

Nesta fase, a concepção selecionada será estudada, analisada, otimizada e avaliada sob diversos aspectos relacionados a engenharia, como, aspectos técnicos, econômicos, ambientais, etc. Para auxiliar nesta etapa, podem ser utilizados softwares de simulação, possibilitando simular diversos parâmetros dos componentes como, resistência mecânica, aerodinâmica, desempenho, vibração, encaixes, entre outros. Ao final desta etapa temos uma concepção viável sob ponto de vista de engenharia (PAHL et. al. 2005).

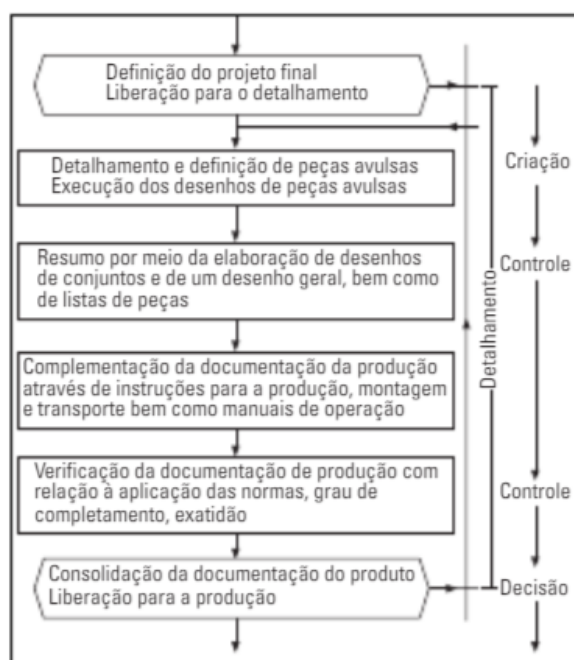
### 2.9.4 Projeto detalhado

Nesta fase estará feito o projeto final do produto documentado e pronto para fabricação. As principais atividades realizadas nessa etapa são:

- Ajustes e melhorias
- Definição completa da forma dos componentes do produto;
- Especificação de materiais;
- Especificação de tolerâncias;

- Revisão de custos finais;
- Documentação do produto, especialmente dos desenhos dos componentes, dos desenhos de conjunto e do desenho completo;
- Especificação de todos os componentes
- Lista de peças do produto;

O resultado do detalhamento é a definição da técnica de produção da solução, incluindo a compilação das indicações para sua utilização (documentação do produto) (PAHL et. al. 2005). A Figura 17, a seguir ilustra a etapa do projeto detalhado.



**Figura 17 - Etapas do detalhamento do projeto**

Fonte: PAHL et. Al. (2005)

### **3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Para a realização deste trabalho, foram adotadas as ferramentas de metodologias de desenvolvimento de produtos, previamente descritas no capítulo 2, de forma a auxiliar o projeto do dispositivo para alcançar o objetivo final. O método consiste basicamente em quatro etapas que serão detalhadas a seguir.

#### **3.1 Projeto informacional**

A primeira etapa foi o desenvolvimento do projeto informacional, onde foram definidas as necessidades do cliente, os requisitos do usuário, os requisitos de projeto e as especificações de projeto.

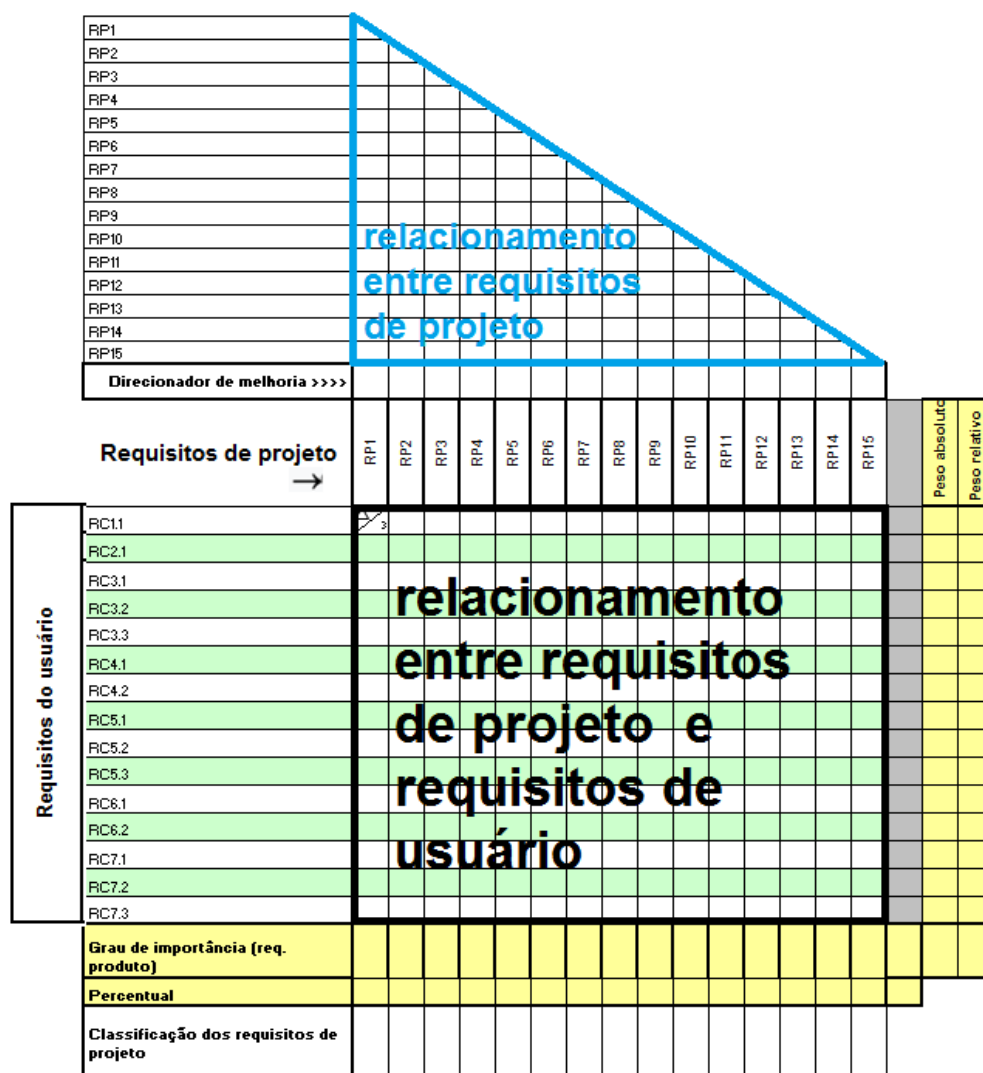
Por ser um projeto único feito para uma empresa específica, as informações necessárias no projeto informacional, entre elas as necessidades dos clientes, foram adquiridas por entrevistas por telefone com o proprietário da empresa. Além disso, foram utilizadas algumas ferramentas da metodologia do QFD que serão detalhadas a seguir.

##### **3.1.1 Metodologia QFD**

Após a obtenção das necessidades do cliente, essas informações foram transformadas em requisitos do usuário com pesos de acordo com sua importância para o usuário. Estes requisitos do usuário foram então traduzidos conforme critérios técnicos e econômicos em requisitos de projeto (características de engenharia). Esses dados foram dispostos na casa da qualidade modificada conforme mostra a Figura 18, a seguir.



Figura 18 - Casa da qualidade modificada



Fonte: Autor

No telhado da casa da qualidade, os requisitos de projeto foram relacionados utilizando a simbologia da Figura 19. A correlação positiva indica que as variações nos requisitos são positivas e a correlação negativa o contrário.

Figura 19 - Simbologia utilizada no telhado da casa da qualidade

Símbolo	Influência	Descrição
++	Fortemente positivo:	Quando as características se influenciam positivamente a outra
+	Positivo:	Quando as características influenciam mutuamente
-	Negativo:	Quando as características técnicas se influenciam negativamente
--	Fortemente negativo:	Quando existe conflito entre as características.
	Em branco	Quando não há nenhuma relação de dependência.

Fonte: Autor

Na parte central, foram estabelecidas as relações entre os requisitos do usuário e os requisitos de projeto, utilizando o número 1 para fraco, 3 para moderado, 5 para forte e 0 para nenhuma. Ao final da matriz obteve-se a soma de cada coluna, que indica o grau de importância de cada requisito de projeto para o cliente. Este grau de importância foi utilizado para a etapa de avaliação das concepções.

Após isso, foram realizadas as etapas do projeto conceitual apresentadas a seguir.

## **3.2 Projeto conceitual**

Na parte do projeto conceitual a matriz morfológica e o método de *Pugh* foram utilizados para a geração e avaliação das soluções, conforme detalhado a seguir.

### **3.2.1 Gerações/seleção de concepções**

Por intermédio do simples arranjo das diferentes linhas e colunas da matriz morfológica, elaborou-se 10 soluções para o problema. Dentre as soluções geradas, foram escolhidas 7 que atendem aos critérios gerais estabelecidos, para posterior análise.

### **3.2.2 Avaliação das principais concepções**

Após criar as variantes de concepções e filtrar as principais escolhas, estas foram avaliadas de acordo com os critérios técnicos e econômicos presentes na lista de requisitos de projeto elaborada na etapa informacional do projeto. Utiliza-se nessa etapa, o método de *Pugh* modificado, utilizando como referência o peso do grau de importância de cada requisito de projeto, calculado anteriormente na casa da qualidade.

Após a realização desta análise, foi escolhida uma concepção para a realização da etapa do projeto preliminar apresentada a seguir.

## **3.3 Projeto preliminar**

No projeto preliminar, foi dada viabilidade técnica e econômica ao projeto. Seguindo a concepção e os requisitos gerais obtidos nas etapas anteriores, foram selecionados os componentes comerciais a serem utilizados e a partir de suas dimensões já definidas, foram feitos os dimensionamentos dos componentes a

serem fabricados. Para auxiliar na criação/dimensionamento destes componentes, bem como na montagem do conjunto, foram utilizados os *softwares* Solidworks para os desenhos 3D da parte estrutural e o *software* Eagle para o projeto eletrônico do sistema.

### **3.4 Projeto detalhado**

Por fim, foi feito o desenho técnico de todos os componentes do sistema, com todas as dimensões, tolerâncias e ajustes necessários. Com o objetivo de reduzir custos, a fabricação dos componentes foi realizada utilizando ferramentais simples como furadeira simples, esmerilhadora, lixas manuais, machos, solda de estanho-chumbo, etc.

Então, foram realizadas a programação e projeto do sistema eletrônico. Com todo o projeto detalhado feito foi iniciado a construção do protótipo conforme detalhado a seguir.

#### **3.4.1 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO**

Posteriormente às etapas dos projetos conceitual, preliminar e detalhado, iniciou-se a construção do protótipo. Nesta fase permite-se encontrar possíveis adaptações para aprimorar o produto. As mesmas alteram o dimensionamento dos componentes projetados para que se torne possível a construção do dispositivo final. Muitas dessas adaptações são resultados da falta de visualização total do equipamento no *software* utilizado para o projeto, pois dentro da fase de dimensionamento, nem todas as limitações de fabricação são levadas em consideração. Dessa forma, a construção explicita a necessidade de mudança de alguns componentes.

Depois de todos os desenhos revisados e impressos, foi realizada a confecção de todos os componentes estruturais e mecânicos do protótipo utilizando os equipamentos básicos disponíveis. Após a compra dos materiais necessários, para que ocorresse a fabricação da melhor maneira possível, foi montado um cronograma de confecção dos componentes. Este obedeceu a seguinte ordem:

- 1) Confecção da estrutura do dispositivo (base, fundo e teto)

- 2) Confeccção da peça de união entre rolamento, castanha e sistema de medição;
- 3) Montagem e programação do sistema de medição;
- 4) Confeccção da placa de circuito;
- 5) Confeccção dos cases para o sistema eletrônico;
- 6) Montagem de todo o conjunto;
- 7) Acabamento;

#### **3.4.2 Calibração**

Com o protótipo montado foi realizada a calibração no sistema de medição. Para isso, foi necessário descobrir qual a reta de calibração da célula de carga. Utilizando diferentes medidas de pesos padrões utilizados na calibração das balanças comuns, foi adquirido o valor fornecido pela célula de carga na saída serial do Arduino para cada peso diferente. Com esses dados foi possível obter a reta de calibração da célula de carga e calcular o seu coeficiente angular. O valor do coeficiente angular da reta foi então incluído na programação do sistema no seu devido lugar.

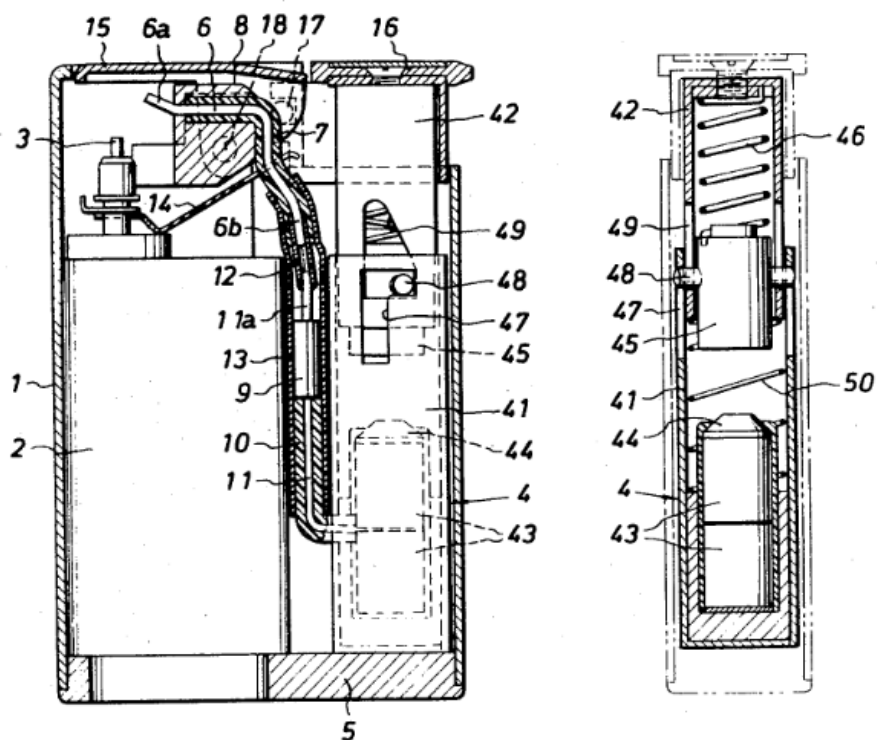
### 3.4.3 Testes e validação

Por fim, foram realizados testes no dispositivo para avaliar sua repetitividade e precisão. Primeiramente, foram utilizados pesos padrão utilizados em balanças comerciais comuns para verificar se a célula de carga estava fornecendo valores corretos. O procedimento utilizado foi:

- 1) Zerar a célula de carga apertando o botão laranja;
- 2) Apertar o botão verde para inicializar a medição;
- 3) Colocar o peso em cima da célula de carga;
- 4) Apertar novamente o botão para parar a medição e salvar o valor obtido.

Este procedimento foi feito para pesos de 0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg, 2 kg, 3 kg e 3,5 kg onde cada peso foi medido 10 vezes. Com os valores obtidos foram calculadas as medias e desvios padrões para cada peso.

Tendo em vista que a medição dos lacres não é um processo estático como o método utilizado anteriormente, foi então idealizado um teste dinâmico. Já que um lacre para linguça ao ser fechado não pode ser aberto novamente, não sendo possível testá-lo várias vezes para verificar se o sistema fornece o mesmo valor em todas as medições, foi utilizado um mecanismo que apresenta um comportamento muito semelhante ao do fechamento dos lacres para linguça. O mecanismo utilizado, é encontrado em ignitores piezoelétricos para isqueiros, conforme mostra a Figura 20.



**Figura 20 - Mecanismo do ignitor piezoelétrico de um isqueiro a gás**

**Fonte: Sadao (1973)**

Basicamente o mecanismo funciona de forma que o usuário imprime uma força no botão (16), comprimindo a mola (46), até que em determinado valor, o pino (48), escorrega para o rasgo (47), fazendo com que o martelo (45) bata no cristal piezoelétrico (44) gerando uma corrente elétrica. Portanto, como ocorre no fechamento dos lacres para linguixa, a força é aplicada até um limite máximo em que a resistência contra essa força cai drasticamente.

Com um mecanismo que pudesse ser testado várias vezes fornecendo praticamente sempre o mesmo valor, os testes foram então iniciados. Primeiramente foi avaliada a influência da velocidade da medição nos valores obtidos pelo sistema. Para isso, utilizando um cronômetro, foram realizados 5 testes com diferentes velocidades de medições. Mantendo uma velocidade praticamente constante no giro da manivela do sistema, e inicializando o cronometro quando a célula de carga encostava no botão do ignitor piezoelétrico e parando quando ocorria o “clique” do sistema (batida do martelo no cristal piezoelétrico), foram feitas 25 medições por teste, com tempos variando de 1 a 5 segundos. Com os valores de cada teste foram

calculadas a média e o desvio padrão dos valores e com a comparação destes valores foi possível obter um valor de velocidade para o qual o sistema fornece bons resultados.

Definida a velocidade de medição, foram então realizadas 50 medições no mecanismo do ignitor piezelétrico e calculada a média e desvio padrão dos valores obtidos. Assim foi possível determinar uma boa aproximação para a incerteza padrão de medição do sistema, utilizando o método tipo A.

Por fim foram feitos testes nos lacres fornecidos pela empresa e verificado se o dispositivo era adequado a esse tipo de medição.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados a partir da aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior.

### 4.1 Necessidades do cliente e requisitos do usuário

Através de entrevista por telefone com o cliente, foram adquiridas as informações sobre suas necessidades. Dentre as principais necessidades do cliente estavam o valor do produto final, a repetitividade das medições, possibilidade de comunicação com o computador e a facilidade de manuseio do dispositivo. Estas necessidades foram então transformadas em requisitos do usuário, onde foram estabelecidos pesos para cada requisito de acordo com sua importância para o cliente, como mostrado no **Quadro 5 - Requisitos do usuário** Quadro 5 a seguir.

**Quadro 5 - Requisitos do usuário**

<b>Requisitos do usuário</b>	<b>Peso absoluto</b>
Fácil manutenção	2
Robustez/Estabilidade da estrutura	5
Durabilidade	2
Baixo custo	10
Deslocamento preciso	5
Precisão de medição	2
Facilidade de transmissão dos dados para o computador	4
Repetitividade das medições	7
Facilidade de manuseio	5
Possibilidade de medição de diferentes tamanhos de lacres	5
Fácil Calibração	4
Sem perigos para operador	5



## 4.2 Requisitos de projeto

Para fornecer viabilidade técnica e econômica às necessidades do cliente, foram definidos os requisitos de projeto conforme listado a seguir:

- Projeto simplificado
- Facilidade de fabricação
- Disponibilidade de equipamentos para a fabricação
- Montagem simplificada
- Resistência material
- Custo de aquisição dos materiais
- Qualidade do sistema de medição
- Controle do deslocamento
- Precisão do sistema de medição
- Conectividade
- Desgaste
- Ergonomia
- Flexibilidade de encaixe
- Confiabilidade
- Componentes comerciais

### 4.2.1 Casa da qualidade

Com os dados obtidos anteriormente foi montada a casa da qualidade modificada conforme mostrado no apêndice A.

O resultado da antepenúltima linha da casa da qualidade fornece uma medida da importância de cada requisito de projeto em relação aos requisitos do usuário, o que permite classifica-los quanto à sua importância, conforme mostra o Quadro 6 a seguir.

Quadro 6 - Importância dos requisitos de projeto

<b>Requisitos de projeto</b>	<b>Importância</b>	<b>Classificação</b>
Projeto simplificado	179	10
Facilidade de fabricação	171	11
Disponibilidade de equipamentos para a fabricação	164	12
Montagem simplificada	95	15
Resistência material	241	7
Custos	405	1
Qualidade do sistema de medição	359	5
Controle do deslocamento	380	2
Precisão do sistema de medição	230	8
Conectividade	220	9
Desgaste	127	14
Ergonomia	298	6
Flexibilidade de encaixe	161	13
Confiabilidade	379	4
Componentes comerciais	380	3

Fonte: Autor


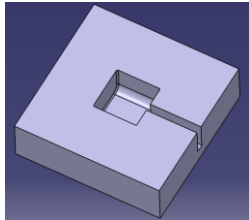
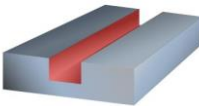

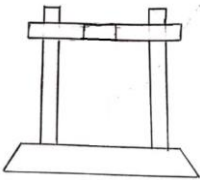



Portanto, percebe-se que os principais requisitos do projeto são o custo de aquisição dos materiais, o controle do deslocamento do sistema de medição, o uso de componentes comerciais e a confiabilidade do dispositivo.




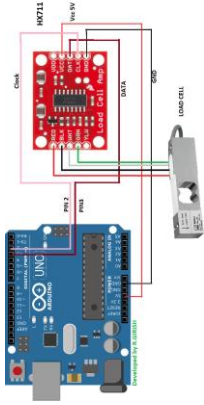






Após a aquisição destes dados, foram realizadas as etapas do projeto conceitual apresentadas a seguir.

### 4.3 Matriz morfológica

Para a utilização da matriz morfológica, foram definidas 6 subfunções essenciais para o funcionamento do projeto, de acordo com os requisitos do usuário. Então, foi realizado um *brainstorming* para a obtenção dos princípios de funcionamento que satisfizessem cada subfunção. As ideias geradas mais adequadas foram colocadas na matriz conforme mostrado no Quadro 7 a seguir.

Quadro 7 - Matriz morfológica

MATRIZ MORFOLÓGICA					
Subfunções		Princípios de funcionamento			
		1	2	3	4
A	Fixar e posicionar o laque no dispositivo	Tipo morsa 	Cavidade no formato do laque 	Rasgo na base 	Engate rápido 
		B	Estrutura base do dispositivo	Hastes guias fixadas na base  Vista frontal	
C	Permitir o movimento em apenas uma direção	Haste guia com rolamento linear 	Guia linear com patins 	Tipo pistão 	

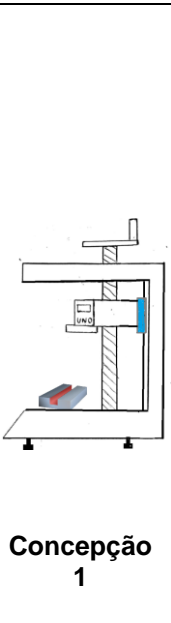
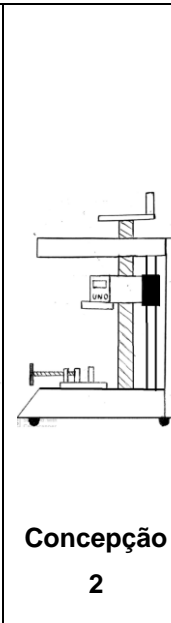
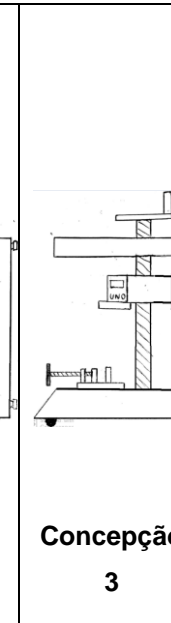
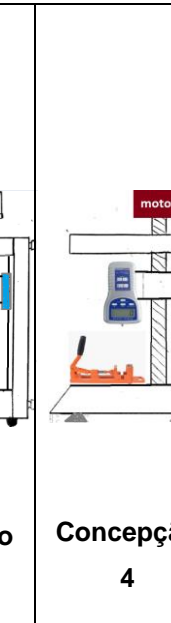
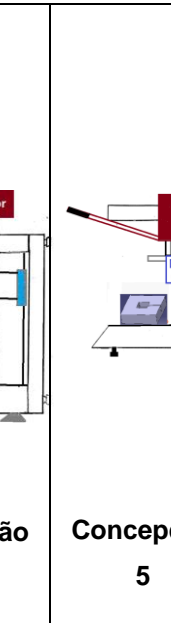
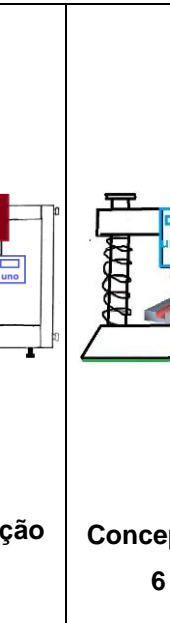
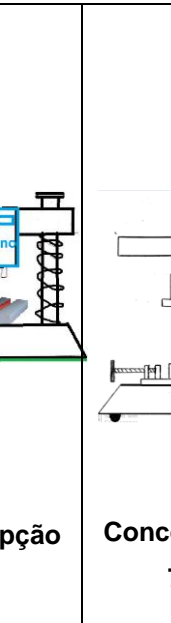
D	Realizar o movimento	Fuso trapezoidal acoplado a um motor de passo 	Fuso trapezoidal acionado a manivela 	Descida manual com hastes guias 	Sistema de alavanca 
E	Medição da força e comunicação com o computador	Sistema Arduino 	Dinamômetro digital comercial 	Dinamômetro analógico dados passados por operador para o computador 	
F	Fixar o dispositivo em uma bancada	Fita dupla face 	Parafuso, porcas e arruelas 	Ventosas 	Pés emborrachados 

Fonte: Elaborada pelo autor

#### 4.4 Gerações de concepções

Por intermédio da combinação das linhas e colunas da tabela, 4096 soluções diferentes poderiam ser geradas. Aquelas que perceptivelmente eram inadequadas aos requisitos do usuário e requisitos de projeto logo foram descartadas, sendo mantidas apenas aquelas que eram mais adequadas. Estas foram analisadas para identificar quais as que atendem aos critérios gerais estabelecidos e, por fim, foram escolhidas 7 opções principais para o projeto conforme mostra o Quadro 8.

**Quadro 8 - Principais soluções encontradas**

<b>S</b> <b>u</b> <b>b</b> <b>f</b> <b>u</b> <b>n</b> <b>ç</b> <b>õ</b> <b>e</b> <b>s</b>								
	<b>Concepção 1</b>	<b>Concepção 2</b>	<b>Concepção 3</b>	<b>Concepção 4</b>	<b>Concepção 5</b>	<b>Concepção 6</b>	<b>Concepção 7</b>	
	<b>A</b>	Rasgo na base	Tipo morsa	Tipo morsa	Engate rápido	Cavidade no formato do lacre	Rasgo na base	Tipo morsa
	<b>B</b>	Chapa única dobrada	Chapas unidas por parafuso	Chapas unidas por parafuso	Chapas unidas por parafuso	Chapas unidas por parafuso	Hastes guias fixadas na base	Chapas unidas por parafuso
	<b>C</b>	Guia linear com patins	Haste guia com rolamento linear	Guia linear com patins	Guia linear com patins	Tipo pistão	Duas hastes guias	Guia linear com patins

<b>D</b>	Fuso trapezoidal com manivela	Fuso trapezoidal com manivela	Fuso trapezoidal com manivela	Fuso trapezoidal com motor de passo	Sistema de alavanca	Descida manual com hastes guias	Fuso trapezoidal com motor de passo
<b>E</b>	Sistema Arduino	Sistema Arduino	Sistema Arduino	Dinamômetro digital	Sistema Arduino	Sistema Arduino	Sistema Arduino
<b>F</b>	Parafusos e arruelas	Pés emborrachados	Pés emborrachados	Ventosas	Parafusos e arruelas	Fita dupla face	Pés emborrachados

Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.5 Avaliação das concepções

Após a seleção das principais concepções, estas foram avaliadas em relação aos requisitos de projeto definidos e classificados quanto a sua importância (peso) nas etapas anteriores. Utilizando a concepção 1 como referência, foi montada a matriz de avaliação de concepções, conforme mostrado no Quadro 9 a seguir.

Quadro 9 - Matriz de avaliação das concepções

Requisitos de projeto	Peso	Concepção 1 (Referência)	Concepção 2	Concepção 3	Concepção 4	Concepção 5	Concepção 6	Concepção 7
Projeto simplificado	179	0	0	0	-179	-179	179	-179
Facilidade de fabricação	171	0	0	0	-171	-171	0	0
Disponibilidade de equipamentos para a fabricação	164	0	164	164	0	-164	0	0
Montagem simplificada	95	0	0	0	-95	-95	95	-95
Resistencia material	241	0	0	0	0	0	0	0
Custos	405	0	405	0	-405	-405	0	-405
Qualidade do sistema de medição	359	0	0	0	359	0	0	0
Controle do deslocamento	380	0	0	0	0	0	-380	0
Precisão do sistema de medição	230	0	0	0	230	0	0	0
Conectividade	220	0	0	0	0	0	0	0
Desgaste	127	0	0	0	0	0	0	0
Ergonomia	298	0	0	0	298	298	-298	298
Flexibilidade de encaixe	161	0	161	161	161	-161	-161	161
Confiabilidade	379	0	0	0	379	0	0	0
Componentes comerciais	380	0	380	380	380	-380	0	380
<b>Resultado final</b>		<b>0</b>	<b>1111</b>	<b>705</b>	<b>957</b>	<b>-1257</b>	<b>-566</b>	<b>161</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como pode-se notar, as concepções 2, 3 e 4 foram as que obtiveram as maiores notas entre as avaliadas, sendo a concepção 2 a com maior nota. Apesar da maior qualidade e facilidade de uso da concepção 4, esta possuiria um custo muito alto por conta do dinamômetro digital e do sistema de engate rápido que são componentes extremamente caros, fugindo do orçamento máximo do projeto.

Portanto, a escolha se deu entre as concepções 2 e 3, onde a única diferença entre estas duas soluções seria que uma utiliza eixo retificado com rolamento na subfunção C (concepção 2) e a outra utiliza guia linear com patins. Por conta do custo de aquisição mais baixo do eixo retificado com rolamento, a concepção 2 recebeu 405 pontos a mais que a concepção 3, e, portanto, é a selecionada para a continuação do projeto.

#### 4.6 Descrição da concepção selecionada

A concepção 2 foi a que recebeu a melhor nota e, portanto, será utilizada na continuação do projeto. Como essa etapa do projeto se trata da fase conceitual, as dimensões dos componentes e características particulares não estão sendo representadas de forma detalhada e em escalas reais.

A Figura 21 representa o *layout* do dispositivo com a posição aproximada de cada sistema. Nessa solução, uma manivela movimenta um fuso, este fuso passa por dentro de uma castanha onde o sistema de medição feito em Arduino está fixado. O movimento do fuso faz com que o conjunto se mova para cima e para baixo conforme o sentido da rotação da manivela. Uma haste guia com rolamento linear fixado juntamente com a castanha e o sistema de medição permite que o sistema se mova em apenas um eixo (vertical). O sistema de fixação do laque plástico no dispositivo é feito através de uma pequena morsa, permitindo que lacres de diferentes tamanhos sejam avaliados. Pés emborrachados evitam que o dispositivo se mova durante o manuseio do produto. A estrutura do produto utilizando chapas parafusadas permite maior facilidade para a fabricação, além da possibilidade de diferentes formatos.

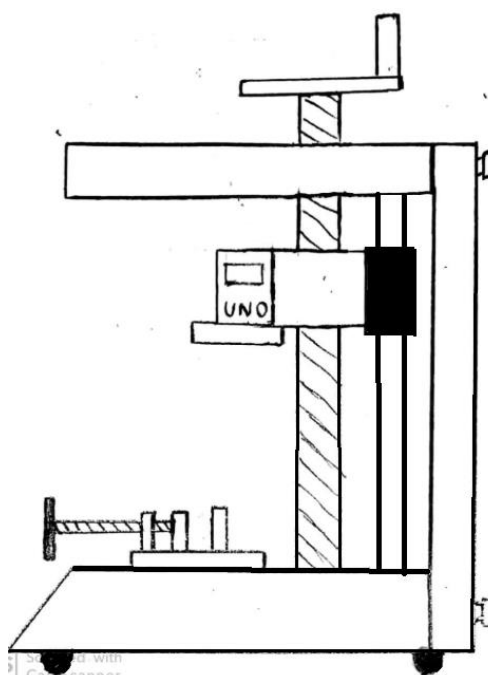


Figura 21 - Croqui da concepção selecionada

Fonte: Elaborada pelo autor.



## 4.7 Projeto preliminar e detalhado

Após a geração e seleção da melhor solução possível, pode-se desenvolver tecnicamente esta solução proposta.

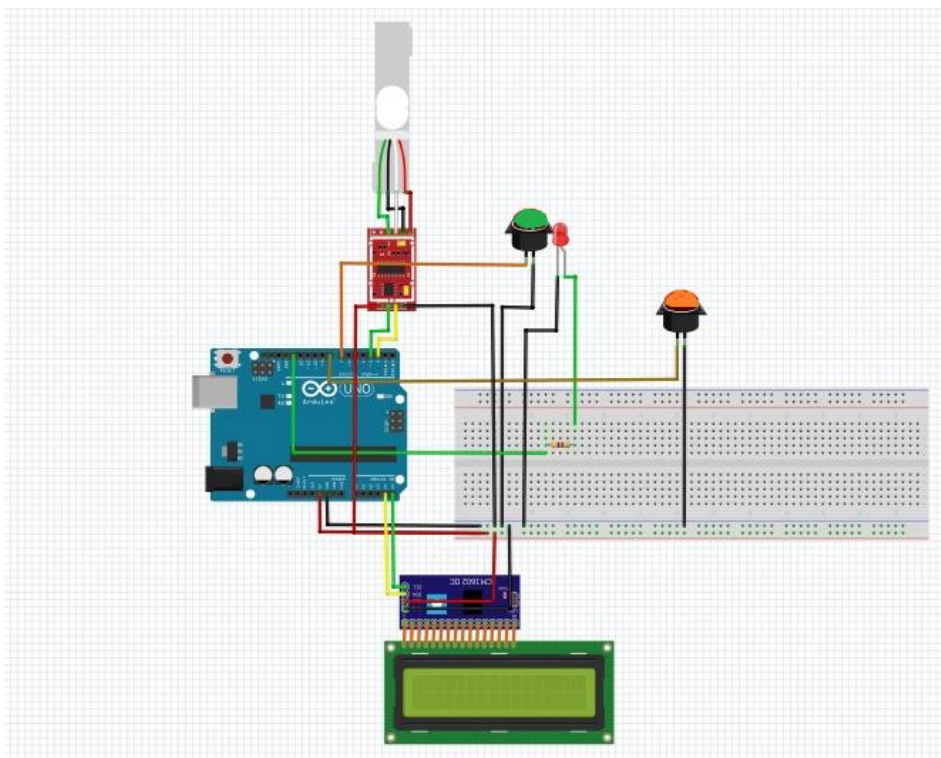
Primeiramente, foi realizado um teste utilizando um dinamômetro comercial comum para obter uma noção das forças envolvidas no fechamento dos lacres plásticos. O valor obtido variou entre 1,5 e 4 kgf, portanto, as forças envolvidas no dispositivo são baixas. Partindo disso, foram feitas as seleções dos componentes comerciais e o dimensionamento dos componentes fabricados. Em paralelo, foi desenvolvido o projeto eletrônico do sistema de medição de força conforme mostrado a seguir.

### 4.7.1 Projeto eletrônico do sistema de medição de força

Nesta etapa, foi desenvolvido um sistema que cumprisse com os seguintes requisitos do cliente:

- Facilidade e ergonomia no uso;
- Possibilidade de tomada e armazenamento de várias medições de forma rápida e fácil;
- Transmissão e armazenamento do valor máximo medido em uma planilha do excel;
- Repetitividade, precisão e confiabilidade do sistema.

Levando em conta estes requisitos, foi desenvolvido um sistema em arduino utilizando um *push botton* de cor laranja, um *push botton* verde com LED e trava, uma célula de carga, um amplificador de sinal e um *display* LCD. Os componentes utilizados nesta parte estão detalhados no item “definições dos componentes comerciais”. Inicialmente esse sistema foi montado e testado utilizando uma *protoboard* de 200 pontos conforme mostra a Figura 22 a seguir.



**Figura 22 - Esquema de ligações do sistema de medição**

**Fonte: Autor**

Esse sistema permite que o usuário, ao apertar o botão laranja, zere a célula de carga (tara); após zerado a célula de carga uma mensagem é exibida no *display* LCD dizendo que a medição já pode ser iniciada. Feito isso, o usuário deve apertar o botão verde indicando para o sistema que a medição começou e os sinais vindos da célula de carga começam a ser lidos e exibidos no *display*. Após finalizar a medição (fechamento do lacre), o usuário deve apertar novamente o botão verde para indicar ao sistema que a medição foi finalizada. Com isso, o sistema armazena o maior e o menor valor registrado durante o período da medição em uma linha de uma planilha do excel.

O código do sistema foi programado em linguagem c e para executá-lo são necessários 7792 *bytes* de espaço de armazenamento e 661 *bytes* de memória dinâmica no Arduino. Este código está localizado no apêndice C. Para realizar a interface entre o excel e o Arduino foi utilizado o *software* gratuito *Parallax Data Acquisition tool* (PLX-DAQ). Este *software* envia os dados da porta serial do Arduino e armazena nas linhas e colunas do excel conforme ilustra a Figura 23.

	A	B	C	D	E
1	Hora	Carga Max.	Carga Min.	Linha	
2	18:36:06	1,70	0	1	
3	18:36:32	0,00	0	2	
4	18:36:41	0,00	0	3	
5	18:37:17	0,00	0	4	
6	18:37:21	0,00	0	5	
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Figura 23 - Parallax Data Acquisition tool

Fonte: Autor.

Para dar maior confiabilidade, durabilidade e deixar o sistema eletrônico mais compacto, a ligação dos componentes na *protoboard* foi posteriormente substituída por uma placa de circuito, onde os componentes foram soldados e ligados através de trilhas. Para auxiliar no desenvolvimento dessa placa, foi utilizado o *software* Eagle. Este *software* facilita a visualização da distribuição dos componentes e permite definir os melhores locais para fazer as trilhas do circuito que ligarão os componentes. O resultado está mostrado na Figura 24, onde as linhas vermelhas representam as trilhas na placa e as linhas amarelas as ligações que foram feitas utilizando fios (componentes mais afastados).

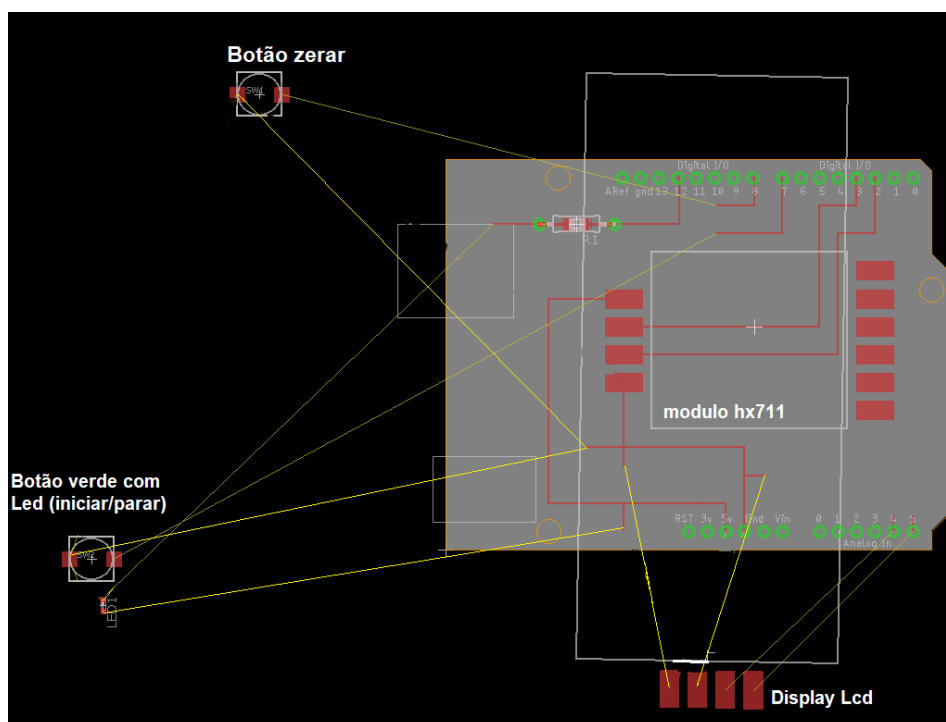


Figura 24 - Esquema de ligação da placa de circuito impresso projetada no Eagle.

Fonte: Autor.

O método de fabricação desta placa de circuito impresso está detalhado no item “Definição dos Componentes a serem fabricados”.

#### 4.7.2 Definição dos componentes comerciais

Para reduzir custos, possibilitar trocas em caso de quebra e facilitar a construção do projeto, alguns componentes que serão utilizados podem ser padronizados e encontrados comercialmente. Esses possuem dimensões já definidas pelo fabricante, os quais devem ser levados em conta na hora de dimensionar as junções, portanto os dimensionamentos dos outros componentes foram feitos de acordo com as dimensões dos componentes comerciais.

Nesta seção serão descritas as especificações dos componentes comerciais padronizados que foram utilizados na construção do dispositivo.

##### 4.7.2.1 Plataforma de prototipagem eletrônica

Neste projeto, a plataforma eletrônica basicamente tem a função de receber os dados da célula de carga e permitir a transmissão/armazenamento desses dados no

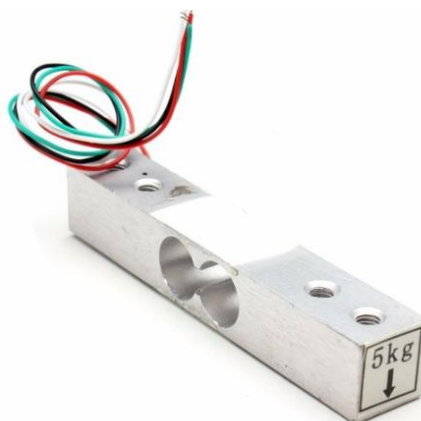
computador. Por conta do baixo custo, facilidade de uso e processamento/capacidade suficiente para este projeto, a placa escolhida foi a Arduino uno R3.

#### 4.7.2.2 Célula de carga para Arduino

Para a medição da força necessária para o fechamento dos lacres, foi utilizado uma célula de carga para Arduino para cargas de até 5 kg, conforme mostra a Figura 25. Este sensor é composto por uma ponte resistiva que altera sua resistência conforme o peso aplicado, ou seja, quando é aplicado determinado peso, é enviada uma tensão ao micro controlador do arduino. Conforme a variação do peso, a tensão de saída vai variar.

Especificações da célula de carga:

- Carga nominal: 0 a 5 kg;
- Potência nominal de saída:  $1.0\text{mv/v} \pm 0.15\text{mv/v}$ ;
- Zero saída:  $\pm 0,1\text{mv/v}$ ;
- Creep: 0,03% f.s./30 Min;
- Tensão de funcionamento recomendada: 3 ~ 12 VDC;
- Tensão máxima de operação: 15 VDC;
- Impedância de entrada:  $410 \pm 30$  ohms;
- Impedância de saída:  $350 \pm 3$  ohms;
- Isolamento: > 2000 megaohm/50 VDC;
- Faixa de compensação de temperatura: -10C ~ 40C;
- Faixa de temperatura de operação: -20C ~ 60C;
- Classe de proteção: IP65;
- Material: liga de alumínio;
- Dimensões (CxLxE): 80x12,7x12,7mm;
- Peso: 31g.



**Figura 25 - Célula de carga de 5 kg para Arduino**

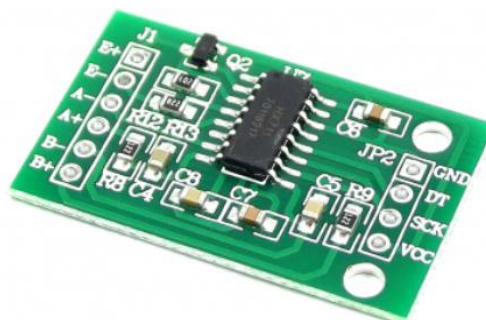
**Fonte: Saddam (2017)**

#### **4.7.2.3 Amplificador de sinal**

Como citado anteriormente, para que o micro controlador receba um sinal de qualidade, a utilização do amplificador de sinal é fundamental. Por isso foi utilizado o modulo HX711, conforme mostra a Figura 26.

Especificações:

- Tensão de operação: 4,8 a 5,5V DC
- Corrente de operação: 1,6mA
- Temperatura de operação: -20 a 85°C
- Interface SPI
- Dimensões: 29 x 17 x 4mm (sem os pinos)



**Figura 26 - Módulo HX711**

**Fonte: Saddam (2017)**

#### 4.7.2.4 Display de LCD

Além da visualização dos dados no computador, um *display* de LCD para Arduino com 16 colunas por 2 linhas será utilizado para a visualização dos dados no próprio dispositivo durante as medições, conforme mostra a Figura 27. Este *display* será conectado na placa Arduino uno R3.

Especificações:

- Cor backlight: Azul
- Cor escrita: Branca
- Dimensão Total: 80mm X 36mm X 12mm
- Dimensão Área visível: 64,5mm X 14mm
- Dimensão Característica: 3mm X 5,02mm
- Dimensão Ponto: 0,52mm X 0,54mm

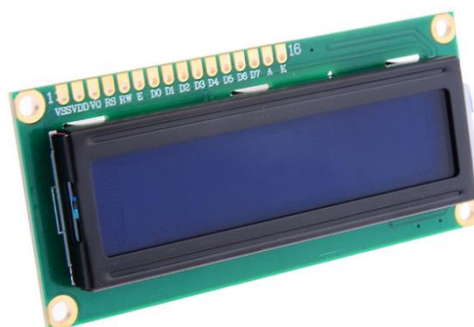


Figura 27 - Display 16x2 para Arduino

Fonte: Saddam (2017)

#### 4.7.2.5 Botões

Foram utilizados botões para realizar basicamente duas funções, zerar o sistema de medição de força quando necessário e para iniciar/parar a medição. O botão escolhido para zerar foi um *push botton* comum e o para iniciar/parar a medição um *push bottom* com trava.

#### 4.7.2.6 Fuso trapezoidal, mancais, acoplamento e castanha

Para que o sistema de medição suba e desça realizando as medições, foi utilizado um fuso trapezoidal  $tr8$  de 200 mm de comprimento que foi ligado na estrutura por mancais parafusados. Este fuso possui um passo de 8 mm, ou seja, a cada volta realizada no fuso a castanha se desloca 8 mm na direção axial conforme mostrado no esquema da Figura 28. Para realizar a rotação do fuso uma manivela, que será detalhada mais a seguir, foi ligada ao fuso através de parafusos.

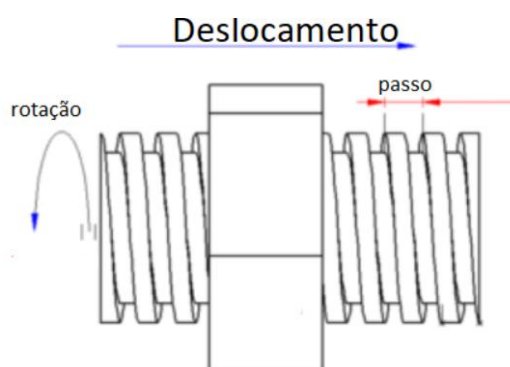


Figura 28 - Deslocamento em função da rotação e do passo do fuso

Fonte: Koyanagi (2018)

O conjunto, conforme mostra a Figura 29, pode ser encontrado facilmente em lojas virtuais por um preço de aproximadamente 90 reais.



Figura 29 - Kit comercial fuso  $tr8$  com mancais e castanha

Fonte: Autor



#### 4.7.2.1 Manivela

Para fornecer torque ao fuso trapezoidal será utilizada uma manivela com 10 cm de diâmetro. Essa manivela possui 2 parafusos em sua base para se fixar ao fuso trapezoidal, conforme mostra a Figura 30.



Figura 30- Manivela.

Fonte: Autor.

#### 4.7.2.2 Eixo retificado com rolamento linear

Para que o sistema de medição e a castanha não rotacionem junto com o fuso durante a movimentação, foi utilizado um eixo retificado acoplado a um rolamento linear do tipo *pillow block*, este rolamento foi fixado na castanha do fuso, permitindo que o movimento do sistema ocorra somente na direção axial.

O eixo retificado possui 20 mm de diâmetro, é fabricado em aço SAE 1045 retificado e temperado por indução e possui uma tolerância dimensional h8. O rolamento *pillow block* é um bloco de alumínio com 4 furos roscados M5, o que permite a fixação de outros elementos ao rolamento. Conforme exibido na Figura 31.



**Figura 31 - Eixo retificado com rolamentos *pillow block*.**

**Fonte: Compramais (2019)**

#### **4.7.2.3 Morsa**

Para o posicionamento e fixação dos lacres plásticos no dispositivo, será utilizado uma pequena morsa, semelhante à mostrada na Figura 32 que será parafusada na posição correta na base da estrutura do dispositivo.



**Figura 32 - Morsa pequena**

**Fonte: Autor**

#### 4.7.2.4 Pés emborrachados

Para que o dispositivo não se mova durante o manuseio, serão fixados por meio de parafusos pés emborrachados na sua base, dando maior estabilidade ao sistema.

#### 4.7.3 Definição dos Componentes a serem fabricados

Alguns dos componentes necessários para a montagem deste projeto tiveram que ser fabricados por não existir no mercado opção comercial adequada ou por apresentar o custo muito elevado. Para o dimensionamento destes componentes foi utilizado o *software* de modelamento 3D SOLIDWORKS. O início do dimensionamento se deu levando em conta componentes comerciais que já possuem medidas exatas. A partir do dimensionamento e montagem de todas as peças é possível ter uma noção da organização e posicionamento de cada componente. Nesta seção serão mostrados estes componentes e as suas características principais.

##### 4.7.3.1 Estrutura

A estrutura foi dividida em 2 chapas de 15 mm de espessura (base e superior) e uma de 19 mm (fundo) que foram unidas por parafusos. Conforme mostra a figura a seguir.

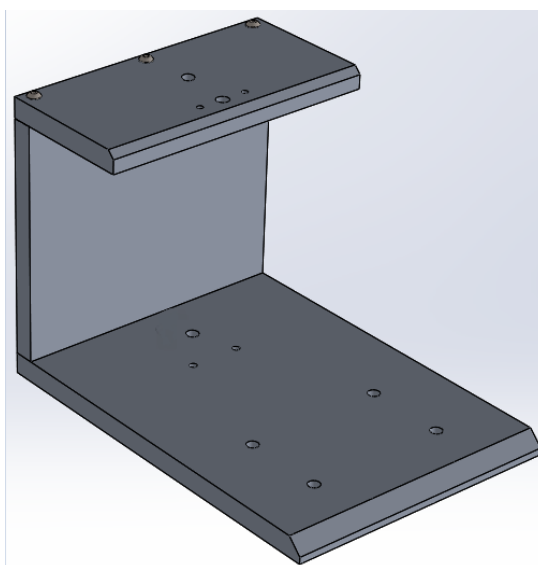


Figura 33 - Estrutura do dispositivo

Fonte: Autor

#### 4.7.3.2 Base

A base da estrutura possui dimensões de 280x200x15 mm, com furos para fixar a morsa e o mancal inferior. Atrás dos furos do mancal, há um furo para a fixação do eixo retificado na estrutura. Na parte posterior da base há 3 furos para realizar a união com o fundo da estrutura por meio de parafusos. Além disso, existem 4 furos roscados para parafusar os pés emborrachados na parte de baixo da base, conforme exibido na Figura 34.

Suas dimensões foram definidas com base no tamanho da morsa selecionada anteriormente, do espaço necessário para a alocação do fuso e do eixo retificado na estrutura e do espaço necessário para a fixação da caixa do sistema eletrônico.

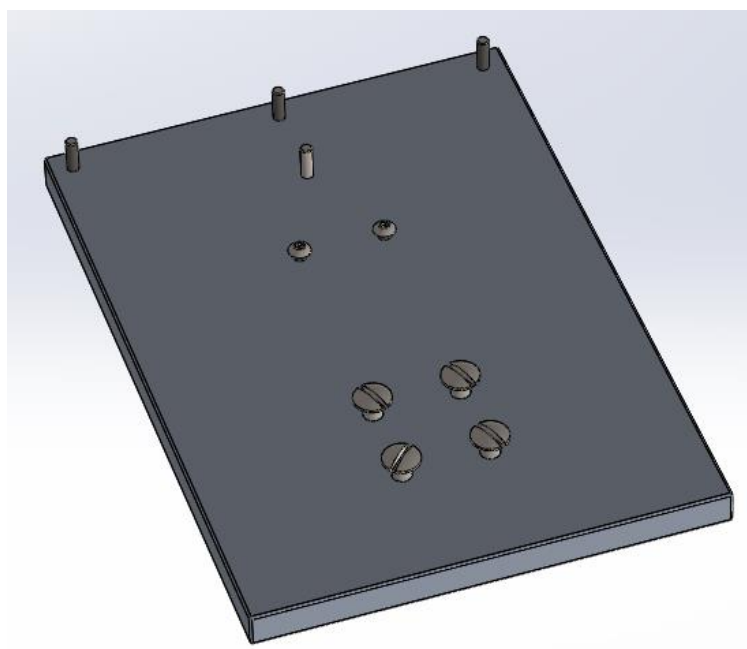


Figura 34 - Parte inferior da estrutura

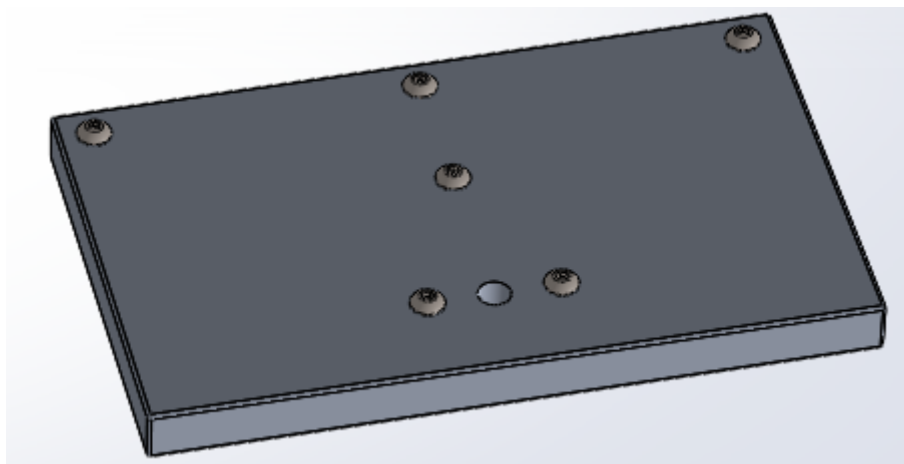
Fonte: Autor

#### 4.7.3.3 Fundo

O fundo da estrutura possui dimensões de 200x200x19 mm, com 6 furos, 3 em cada extremidade, para a união através de parafusos das 3 partes da estrutura. Seu comprimento foi definido com base no comprimento do fuso trapezoidal selecionado anteriormente.

#### 4.7.3.4 Superior

A parte superior da estrutura possui os furos para a fixação do mancal superior do fuso, bem como um furo maior para a passagem do fuso pela chapa. Atrás disso, existe um furo para a fixação do eixo retificado. Conforme mostra a figura a seguir.



**Figura 35 - Parte superior da estrutura**

**Fonte: Autor**

Suas dimensões principais são de 120x200x15 mm.

#### 4.7.3.5 Placa de circuito

Por conta do baixo custo e facilidade de fabricação, a placa de circuito impressa foi substituída por uma placa de fenolite furada com solda estanho-chumbo no lugar das trilhas, conforme mostra a Figura 36. Esta placa realiza a mesma função que uma placa de circuito impresso comum.

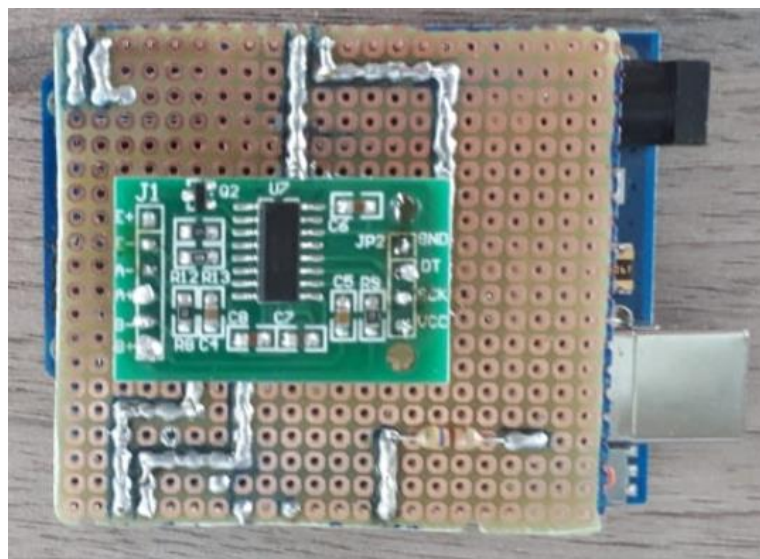


Figura 36 - Placa de circuito utilizando fenolite e solda estanho.

Fonte: Autor

#### 4.7.3.6 União

A união é uma peça que une 4 componentes, o rolamento *pillow block*, a castanha do fuso, o case do LCD e a célula de carga. Com isso, o movimento da célula de carga ocorre somente na direção vertical. Além disso, posteriormente foi fixado, utilizando dois parafusos M3 de 35 mm de comprimento, o case do LCD nesta peça. Este componente está representado em vermelho na Figura 37.

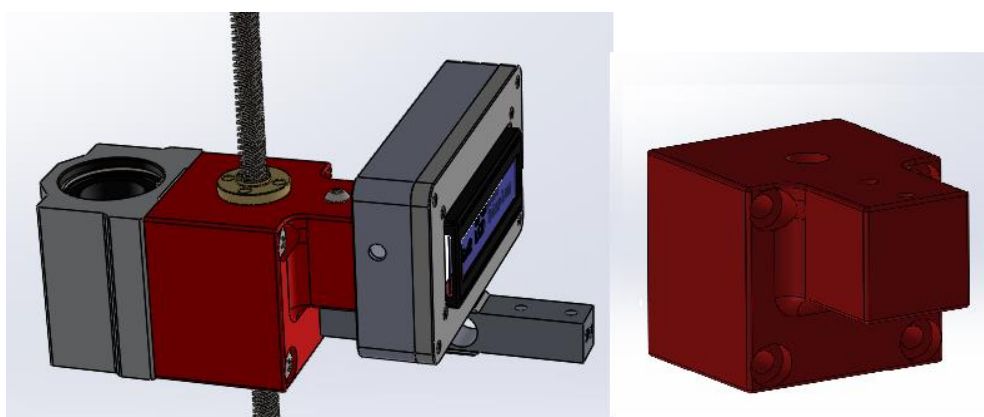


Figura 37 – União

Fonte: Autor

#### 4.7.3.7 Case para o LCD

Foi projetado um *case* para proteger e posicionar o *display* de LCD, este *case* é composto por duas partes (base e tampa) que se unem através de 4 parafusos M3 de 15 mm de comprimento. Na sua tampa temos quatro furos coincidentes com os furos do *display* LCD 16x2 para que este seja fixado por meio de quatro parafusos e porcas no conjunto. Em sua traseira estão 4 furos que serão utilizados para parafusar o *case* na união. A Figura 38 a seguir ilustra o *case* para o LCD.

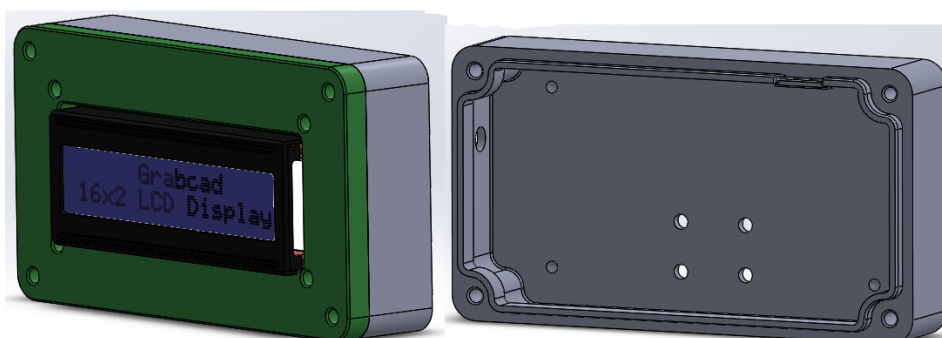
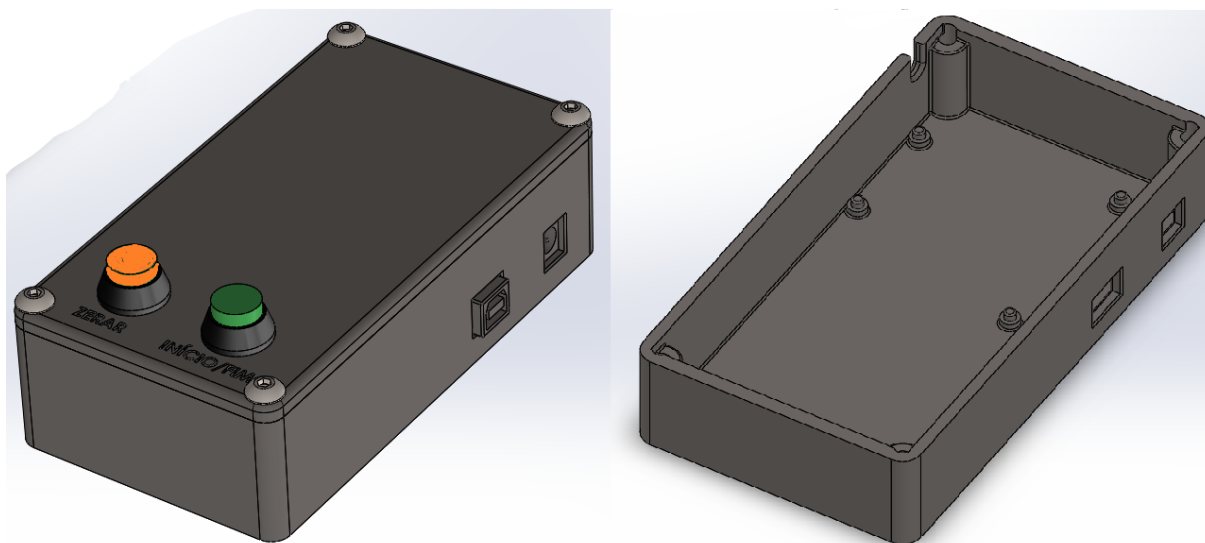


Figura 38 - Case para o LCD

Fonte: Autor

#### 4.7.3.8 Caixa para os componentes eletrônicos

Com o objetivo de conter e proteger o Arduino e a placa de circuito, bem como permitir a fixação dos botões em uma posição confortável para o operador, foi projetada uma caixa conforme mostra a Figura 39. Para o dimensionamento desta caixa foram levados em conta o tamanho do sistema em Arduino (Arduino Uno, placa fenolite e fios soldados) e a posição que os botões deveriam estar para que fosse ergonômica a utilização do dispositivo. A caixa consiste em duas partes (base e tampa) que se unem através de 4 parafusos M5 de 30 mm de comprimento.



**Figura 39 - Caixa para o sistema em Arduino e botões**

**Fonte: Autor**

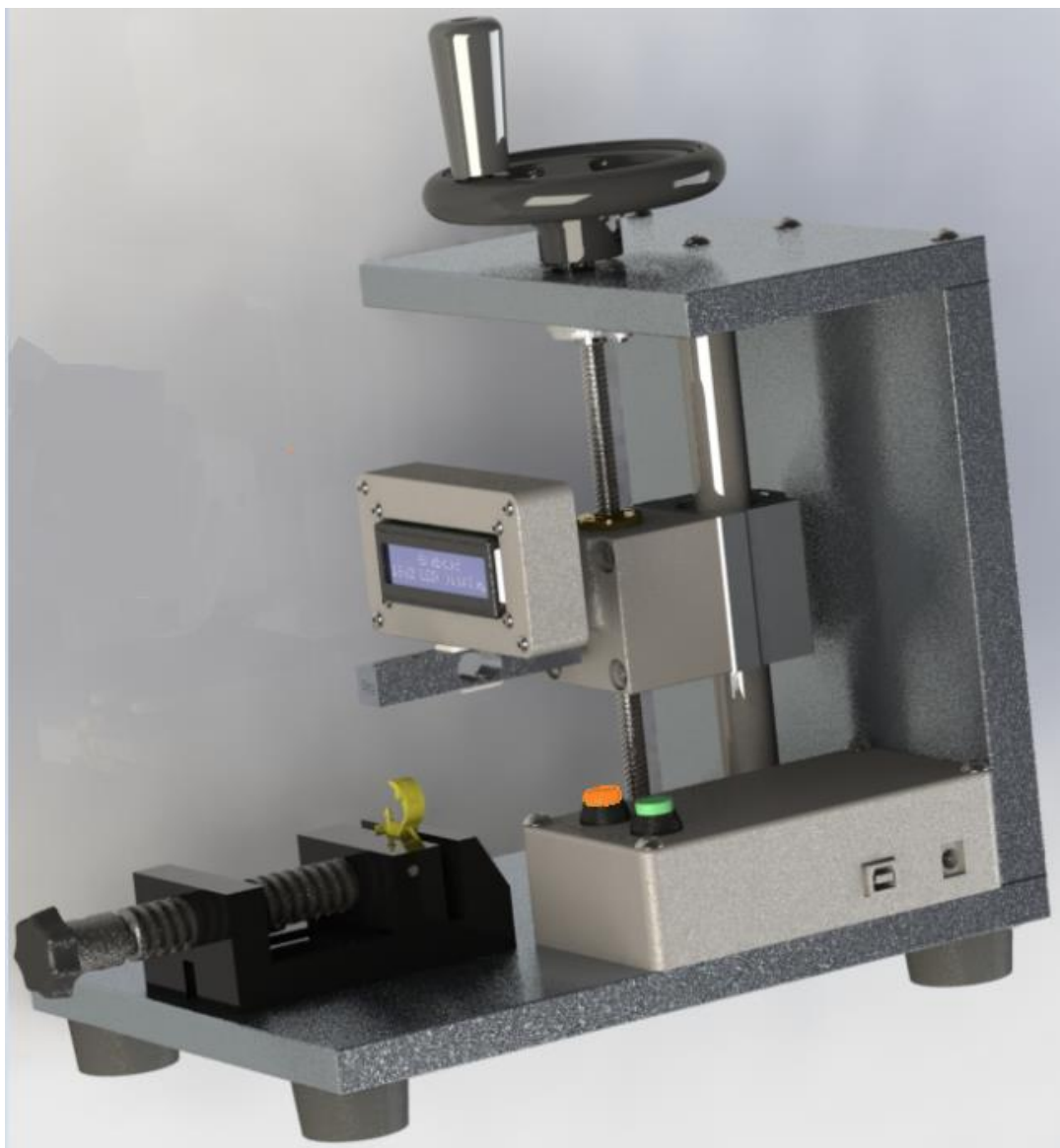
Na base temos 4 pinos para o encaixe do Arduino Uno, além de dois recortes na lateral direita para a conexão dos cabos de energia e USB do arduino. Na outra lateral, um rasgo foi feito para a passagem dos fios que vão para o *display* LCD e para a célula de carga.

Na tampa estão os dois furos para o encaixe dos botões e logo abaixo os escritos indicando a função do seu correspondente botão.

#### **4.7.4 Montagem do dispositivo no Solidworks**

Foi realizado o desenho e montagem de todos os componentes no Solidworks e gerado uma renderização gráfica, incluindo o material de cada componente. Assim, pode-se obter uma boa previsão de como ficaria o resultado final após a fabricação do dispositivo. O resultado está representado na Figura 40 a seguir.





**Figura 40 - Renderização do dispositivo montado**

**Fonte: Autor**

## **4.8 Projeto detalhado**

### **4.8.1 Desenhos de fabricação**

Após todo o dimensionamento, a próxima etapa é o detalhamento e realização dos desenhos técnicos. Nesta etapa, foram produzidos os desenhos das peças a serem fabricadas, com exceção das peças impressas em 3D. São indicadas as tolerâncias dimensionais e demais recomendações. Esses desenhos estão contidos no Apêndice B – Desenhos de fabricação

### **4.8.2 Fabricação, programação e montagem do protótipo**

Com o projeto detalhado pronto e os desenhos de fabricação feitos, foi realizada a fabricação do dispositivo seguindo basicamente duas etapas. Toda a fabricação foi realizada com equipamentos caseiros (furadeira, lixas, etc.) com exceção das peças impressas em 3D que foram impressas no Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental Rápido - NUFER da UTFPR. Cada etapa seguiu uma ordem de execução que será detalhada a seguir.

➤ Fabricação e montagem do projeto estrutural:

- 1) Corte e lixamento das rebarbas das chapas da estrutura do dispositivo (base, fundo e teto);
- 2) Marcação dos pontos de furação com a utilização de um gabarito impresso e um punção de centro;
- 3) Furação dos pontos marcados utilizando uma furadeira elétrica simples;
- 4) Realização das roscas internas nos furos utilizando um macho manual de pré-corte e em seguida o macho de acabamento;
- 5) Chanfros nos furos para facilitar o encaixe e remover rebarbas;
- 6) Arredondamento das bordas utilizando lima reta;
- 7) Lixamento e acabamento das chapas utilizando lixa para metal de granulometria 500;
- 8) Corte do fuso trapezoidal na medida correta;

- 9) Fabricação das partes plásticas em impressora 3D (união, case LCD e a Caixa do sistema eletrônico);
- 10) União das chapas (superior, inferior e fundo) por parafusos;
- 11) Fixação e nivelamento dos pés emborrachados na parte de baixo da chapa inferior;
- 12) Fixação por parafusos do eixo retificado com rolamento *pillow block* nas chapas unidas;
- 13) Fixação da castanha na “união”;
- 14) Fixação por parafusos da “união” no *pillow block*;
- 15) Fixação dos mancais nas chapas superior e inferior;
- 16) Inserção e fixação do fuso trapezoidal passando pelos mancais e castanha;
- 17) Fixação da manivela na ponta do fuso trapezoidal;
- 18) Fixação da morsa na chapa inferior;
- 19) Fixação por parafusos do case do LCD na “união”;
- 20) Fixação da caixa do sistema eletrônico na chapa inferior utilizando fita dupla face.  
  
➤ Fabricação e montagem do projeto eletrônico:
- 21) Programação do código do sistema eletrônico em Arduino;
- 22) Soldagem do módulo I2c no *display* LCD 16x2;
- 23) Realização das trilhas na placa de fenolite perfurada utilizando solda estanho-chumbo;
- 24) Soldagem e todos os componentes e fios na placa de fenolite;
- 25) Soldagem de conectores *faston* fêmea nos fios dos botões, para possibilitar a montagem e desmontagem do sistema na caixa;
- 26) Teste de condução das trilhas e fios utilizando um voltímetro;
- 27) Isolamento das trilhas e fios utilizando fita isolante líquida para evitar possíveis curtos-circuitos;

- 28) Parafusamento do *display* LCD dentro do seu case;
- 29) Fixação do sistema eletrônico dentro da caixa (Arduino, placa fenolite e botões);
- 30) Parafusamento da célula de carga na “união”
- 31) Organização dos fios da célula de carga e do *display* LCD utilizando espaguete termo retrátil e fita isolante;
- 32) Fixação dos fios da célula de carga e do *display* LCD na parte de baixo da “união”;
- 33) Fixação da caixa do sistema eletrônico na chapa inferior utilizando fita dupla face.

Um dos passos mais importantes da fabricação foi a realização dos furos, pois dos 20 furos existentes nas chapas de alumínio, 13 devem estar muito bem posicionados e alinhados para o correto funcionamento do sistema (furos de união entre as chapas, furos de fixação do eixo retificado, furos de fixação dos mancais e furo do fuso trapezoidal). Portanto uma atenção especial foi dada nas etapas de marcação e realização desses furos com a precisão e alinhamento necessários.

Outra dificuldade encontrada na fabricação do protótipo, foi a de soldagem e isolamento elétrico dos componentes eletrônicos. Alguns dos componentes possuem seus terminais muito próximos uns dos outros, o que exige bastante habilidade na hora da solda, para que não ocorram curto circuitos. O mesmo ocorre na solda das trilhas na placa de fenolite, pois algumas das trilhas se encontram muito próximas umas das outras. Além disso, a solda dos fios da célula de carga na placa de fenolite exigiu bastante atenção por ser um lugar de difícil acesso para o ferro de solda e também, por conta da proximidade entre os terminais do módulo hx711.

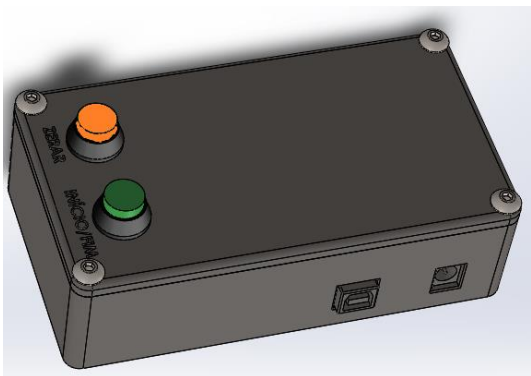
#### **4.8.3 Resultado da fabricação do protótipo**

Após a realização de todos os passos da fabricação do item anterior, foi obtido um protótipo pronto e funcional do produto. O Quadro 10 a seguir mostra uma comparação entre os componentes modelados no Solidworks e os componentes fabricados para o protótipo.

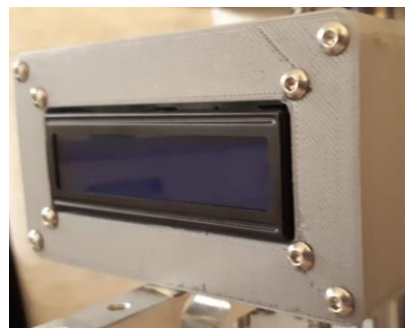
Quadro 10 - Comparação dos modelos CAD com os componentes reais

Nome do componente e Modelo CAD:	Protótipo:
<p data-bbox="225 367 440 398">Chapa inferior:</p> 	
<p data-bbox="225 808 467 840">Chapa do fundo:</p> 	
<p data-bbox="225 1272 320 1303">União:</p> 	
<p data-bbox="225 1599 456 1630">Chapa superior:</p> 	

Caixa do sistema eletrônico:

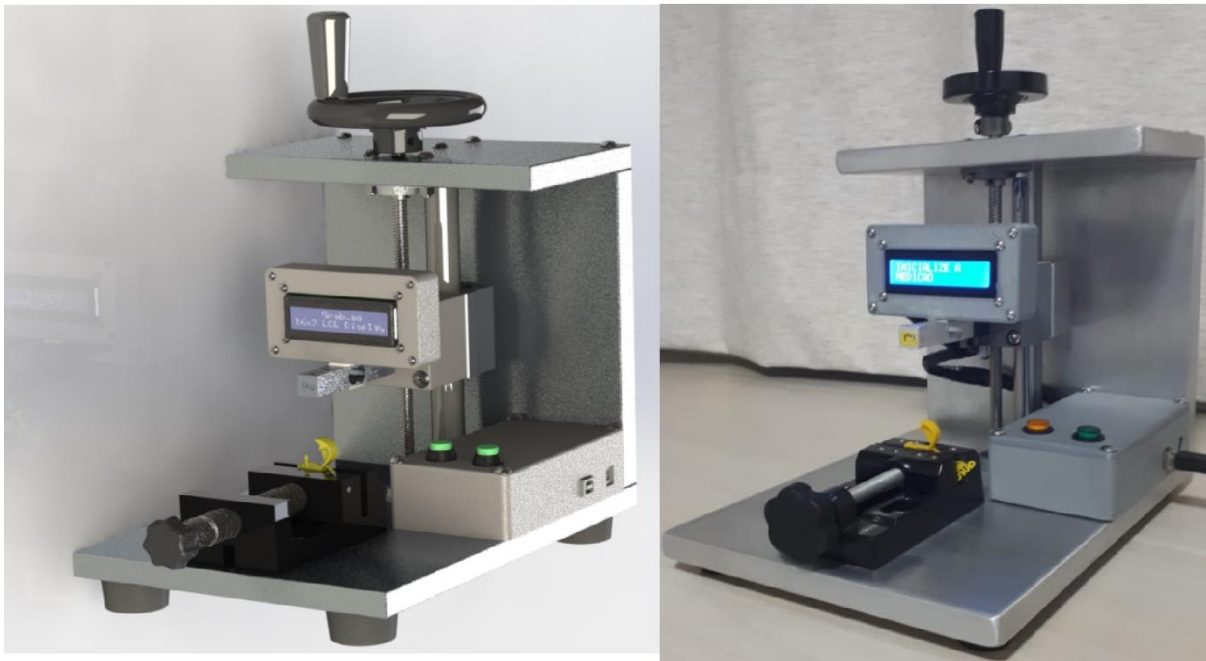


Case do LCD:



Fonte: Autor

Pode-se observar que os componentes seguiram fielmente o modelo 3D realizado no Solidworks. Com isso, conforme mostra a Figura 41, o protótipo ficou muito semelhante ao produto final simulado no software.



**Figura 41 - Comparação entre modelo 3D e o protótipo real**

**Fonte: Autor**

## 4.9 Testes e validação

Todos os conjuntos foram montados e ajustados para o início dos testes. O objetivo dessa etapa é verificar se o protótipo cumpre com os requisitos do cliente.

Para o início dos testes, primeiramente foi realizada a calibração da célula de carga conforme o método descrito anteriormente nos procedimentos metodológicos. A Figura 42 mostra o resultado obtido, onde no eixo y estão os pesos utilizados em gramas e no eixo x o valor verificado na saída serial do Arduino.

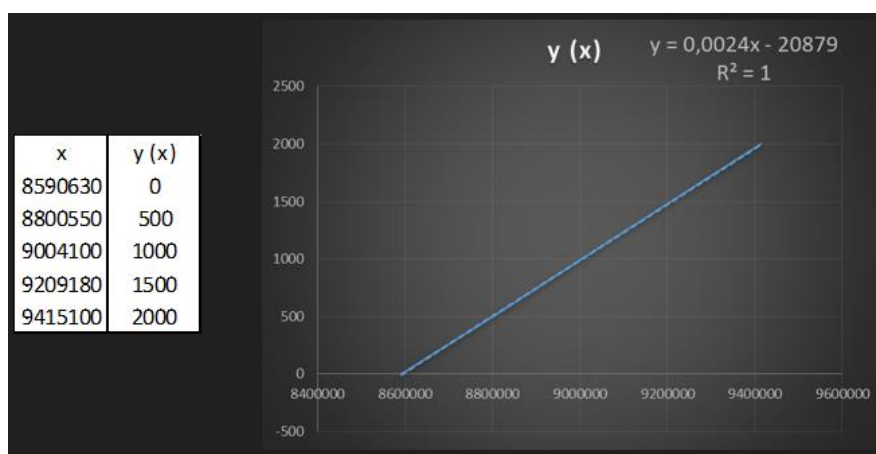


Figura 42 - Obtenção da reta de calibração da célula de carga para arduino

Fonte: Autor

Com a função de reta obtida, foi calculado o seu coeficiente angular e o valor obtido foi substituído na programação conforme mostra a Figura 43.

```
convert = ReadCount();
y = convert;
x = (y-z)*0.002425800817; // Função de Reta para Calibração.
n = x*0.00981;
Serial.println(convert);
```

Figura 43 - Calibração da célula de carga na programação do sistema

Fonte: Autor

Com a célula de carga calibrada foram iniciados os primeiros testes. Conforme mostra o Quadro 11, já foi possível verificar que vários dos requisitos do usuário foram cumpridos.



**Quadro 11 - Resultado dos primeiros testes**

<b>Requisitos do usuário</b>	<b>O Protótipo cumpriu com o requisito?</b>
Fácil manutenção	Sim
Robustez/Estabilidade da estrutura	Sim
Durabilidade	?
Baixo custo	Sim
Deslocamento preciso	Sim
Precisão de medição	?
Facilidade de transmissão dos dados para o computador	Sim
Repetitividade das medições	?
Facilidade de manuseio	Sim
Possibilidade de medição de diferentes tamanhos de lacres	Sim
Fácil Calibração	Sim
Sem perigos para operador	Sim

**Fonte: Autor**

Por conta de diversas incógnitas envolvidas no processo, a durabilidade do produto não será avaliada neste trabalho. Portanto, restou apenas analisar se o protótipo apresentava repetitividade e precisão nas suas medições. Para isso, foram realizados os seguintes estudos.

#### **4.9.1 Estudo da repetitividade e precisão do sistema de medição de força**

Para avaliar a precisão do sistema, primeiramente foi realizado um teste estático, conforme descrito anteriormente nos procedimentos metodológicos. Como os pesos padrão eram muito antigos e alguns estavam riscados e batidos, estes pesos foram pesados em uma balança de precisão calibrada disponível na UTFPR. A balança utilizada foi uma Radwag modelo WTB 2000, com isso verificou-se o peso

real dos pesos padrão. As medições realizadas estão dispostas no Quadro 12 a seguir.

**Quadro 12 - Teste estático com pesos padrão**

Medições	Pesos padrão (Valor medido pela balança de precisão)					
	500,53 g ou 4,91 N	1001,13 g ou 9,82 N	1501,66 g ou 14,73 N	2001,52 g ou 19,63 N	3002,65 g ou 29,46 N	3503,18 g ou 34,37 N
<b>1</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>2</b>	4,91	9,83	14,74	19,66	29,47	34,39
<b>3</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>4</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>5</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>6</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>7</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>8</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>9</b>	4,91	9,83	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>10</b>	4,91	9,84	14,74	19,65	29,47	34,39
<b>Média</b>	4,91 N	9,83 N	14,74 N	19,65 N	29,47 N	34,39 N
<b>Dispersão máxima em relação ao peso padrão</b>	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02

**Fonte: Autor**

Como pode-se perceber, os valores obtidos pelo sistema estão muito próximos dos valores reais, a maior dispersão foi de 0,03 N, portanto o sistema tem uma ótima precisão para cargas estáticas. Além disso, a repetitividade foi de praticamente 100% durante as medições. Das 60 medições, somente duas não foram repetitivas e por valores da ordem de 0,01 N, sendo provavelmente um erro aleatório devido às condições de medição.

Para o teste dinâmico, foi escolhido um mecanismo de ignitor piezoelétrico que apresentasse uma força mínima de acionamento dentro da faixa de força mínima de

fechamento dos lacres (entre 15 a 30 Newtons). Feito isso, foram realizados testes para avaliar a influência da velocidade de descida da célula de carga no valor das medições. Seguindo os métodos descritos anteriormente, foram realizados 5 testes com 25 medições cada, com diferentes tempos entre o início do movimento e o “clique” do mecanismo piezoelétrico. Conforme mostra o Quadro 13 a seguir.

**Quadro 13 - Testes da influência da velocidade de medição nos valores obtidos**

<b>Medições</b>	<b>Teste de 1 segundo</b>	<b>Teste de 2 segundos</b>	<b>Teste de 3 segundos</b>	<b>Teste de 4 segundos</b>	<b>Teste de 5 segundos</b>
<b>1</b>	17,68	18,22	20,85	21,43	21,37
<b>2</b>	16,99	18,06	21,01	21,63	21,07
<b>3</b>	18,23	18,30	20,86	21,61	21,19
<b>4</b>	17,62	19,56	20,71	21,49	21,68
<b>5</b>	17,22	20,49	20,49	21,36	21,53
<b>6</b>	19,25	20,01	20,85	21,49	21,39
<b>7</b>	17,97	19,31	20,66	21,51	21,10
<b>8</b>	17,32	18,66	20,88	21,51	20,99
<b>9</b>	19,32	19,67	20,73	21,22	21,81
<b>10</b>	17,87	19,03	20,65	21,40	21,17
<b>11</b>	17,13	20,48	20,83	21,16	21,38
<b>12</b>	17,57	18,79	21,00	21,38	21,69
<b>13</b>	16,99	18,35	20,71	21,15	21,08
<b>14</b>	20,27	19,62	20,45	20,73	21,35
<b>15</b>	20,06	19,74	20,64	21,12	21,00
<b>16</b>	17,73	20,60	21,04	21,08	21,67
<b>17</b>	17,92	20,02	20,65	21,13	21,40
<b>18</b>	18,75	19,71	20,54	21,23	21,07
<b>19</b>	17,60	20,60	20,84	21,23	20,82
<b>20</b>	18,44	19,12	20,72	21,63	21,37
<b>21</b>	20,01	20,08	20,62	21,22	20,34
<b>22</b>	20,32	20,47	20,84	21,44	20,62
<b>23</b>	18,59	19,23	20,89	21,18	21,00

<b>24</b>	20,25	19,83	20,96	21,48	21,45
<b>25</b>	17,66	19,15	20,85	21,29	21,57
<b>Média</b>	18,35	19,48	20,77	21,32	21,24
<b>Desvio padrão</b>	1,12	0,78	0,16	0,21	0,35

**Fonte: Autor**

Esses testes permitiram verificar que para medições muito rápidas, o valor mínimo obtido era menor do que o real, e o sistema não apresentava uma boa repetitividade nas medições. Porém, para tempos maiores que 3 segundos os valores apresentaram uma boa repetitividade e desvios padrão pequenos. Portanto, para os próximos testes foram utilizados tempos maiores que 4 segundos.

Em seguida, foram realizadas 50 medições da força mínima necessária para o acionamento do mecanismo do cristal piezoelétrico. Os valores obtidos nessas medições estão no Apêndice D – Testes do sistema de medição. Como resultado foi obtido uma média de força de 21,32 N e um desvio padrão de 0,22 N e com isso, foi possível obter uma boa estimativa para a incerteza padrão do sistema (0,22 N). Além disso, assumindo que os valores sigam uma distribuição gaussiana, ao realizar novas medições sob as mesmas condições, os valores devem estar dentro da faixa do valor medido somado ou subtraído de 2,5 vezes o desvio padrão (0,55 N), para uma confiabilidade de 99%.

Após a avaliação do sistema, foram então realizados os testes nos lacres de linguixa. Para isso foi utilizado o seguinte procedimento:

- Posicionamento e fixação do lacre na morsa com a parte do “cone” para cima;
- Zerar a célula de carga apertando o botão laranja (caso já não esteja zerada);
- Apertar o botão verde para inicializar a medição
- Aproximar a célula de carga do lacre fazendo o alinhamento do cone e seu orifício de encaixe (se necessário utilizar a mão), conforme Figura 44;
- Rotacionar a manivela no sentido anti-horário até que o cone entre no seu orifício de encaixe;

- Apertar o botão verde novamente para finalizar a medição e salvar o valor na planilha do Excel;
- Rotacionar a manivela no sentido horário e retirar o lacre da morsa.



**Figura 44 - Posicionamento do lacre plástico no dispositivo**

**Fonte: Autor**

Este procedimento deve ser realizado sempre da mesma forma e se possível pelo mesmo operador, para que possíveis variações no processo não interfiram nos valores medidos. Deve-se tomar bastante cuidado na velocidade da medição, procurando sempre manter abaixo do valor definido anteriormente. Além disso, o operador deve estar sempre atento para o momento do fechamento do lacre, parando a rotação da manivela nesse momento.

Um primeiro teste indicou que a variação na força mínima de fechamento entre lacres vindos de diferentes cavidades do molde é muito grande. Portanto, para verificar esta diferença, foram coletadas 3 amostras de lacres cada uma contendo 15 lacres advindos da mesma cavidade. O número de lacres por amostra foi definido de acordo com a quantidade de lacres disponíveis no momento. Os valores obtidos nas medições dessas amostras foram então avaliados quanto à média e desvio padrão e comparados com o desvio padrão do sistema, conforme mostra o Quadro 14 a seguir.

Quadro 14 - Testes lacres de diferentes cavidades

<b>Medição</b>	<b>Lacres da cavidade 1</b>	<b>Lacres da cavidade 5</b>	<b>Lacres da cavidade 6</b>
<b>1</b>	23,73	20,81	23,11
<b>2</b>	20,98	20,29	39,86
<b>3</b>	23,55	24,32	31,22
<b>4</b>	26,47	22,95	31,54
<b>5</b>	23,87	20,53	25,52
<b>6</b>	25,35	20,85	22,25
<b>7</b>	26,01	26,36	19,72
<b>8</b>	24,92	20,46	23,87
<b>9</b>	26,96	21,04	30,75
<b>10</b>	29,32	20,24	23,54
<b>11</b>	25,43	18,48	23,99
<b>12</b>	25,66	19,61	26,33
<b>13</b>	25,35	20,72	34,74
<b>14</b>	32,02	25,61	26,99
<b>15</b>	29,94	19,77	29,62
<b>Média</b>	25,97	21,47	27,54
<b>Desvio Padrão</b>	2,77	2,28	5,37

Fonte: Autor

Como pode-se notar, os desvios padrões na medição dos lacres são da ordem de no mínimo 10 vezes maior que o desvio padrão do sistema de medição. Além disso, a incerteza de medição calculada para o sistema é muito pequena quando comparada a ordem de grandeza das forças a serem medidas. O que indica que o sistema é adequado para essa utilização.

## 5 ANALISE DOS CUSTOS

No Quadro 15 a seguir, estão todos os custos com materiais envolvidos na fabricação do protótipo.

**Quadro 15 - Custos dos materiais utilizados na fabricação do protótipo**

Item	Quantidade	Custo total (R\$)
<i>Célula de carga 5 kg para Arduino</i>	1	27,90
Placa Arduino uno R3	1	49,90
Protoboard 400 pontos	1	12,00
Display LCD 16x2 para Arduino	1	14,90
Modulo I2c	1	8,50
Modulo hx711	1	10,00
Jumpers	20	20,00
impressão 3D	5	100
Chapas de alumínio	3	180,00
Kit Fuso trapezoidal com castanha, mancais e manivela	1	90,00
Kit eixo retificado e rolamento <i>pillow block</i>	1	88,22
Morsa pequena	1	79,90
Pés emborrachados	4	4,00
Placa de fenolite furada	1	15,00
Parafusos	48	75,00
Porcas	10	2,50
Conectores Faston fêmea	6	4,00
Push botton comum	1	2,00
Barra de pinos macho-macho	2	2,00
Fluxo de solda	1	17,90
Estanho para solda	1	6,00
Push botton com trava e LED	1	6,50
Espaguete termo retrátil	1	8
Fita isolante	1	5,00
Fita isolante liquida	1	17,00
Cabo USB 2 metros	1	8,00
Lixa para metal	2	5,00
Total:		859,22

**Fonte: Autor.**

Como o projeto foi todo fabricado de maneira artesanal e utilizando equipamentos disponíveis em casa, o custo de mão de obra foi zero e o custo do desgaste das ferramentas (brocas, machos, discos de corte, etc.) não foram contabilizados.

Inicialmente era previsto um orçamento de R\$ 650,00 para os materiais a serem utilizados no projeto. Devido a alguns erros de orçamento, como o preço das chapas de alumínio, dos parafusos e das impressões 3D, somado à inclusão de novos itens não previstos no início do projeto, o preço final ultrapassou o orçamento em R\$ 209,22. Apesar disso, a solução mais próxima deste projeto disponível no mercado, seria um dinamômetro digital com suporte para bancada, conforme mostra a Figura 45 a seguir. Este conjunto custa na faixa de R\$7100,00, portanto o custo do dispositivo ficou muito abaixo em comparação com esta outra opção.



**Figura 45 - Dinamômetro digital com suporte para bancada.**

**Fonte: Instrutherm (2019).**



## 6 CONCLUSÕES

A cada ano que passa o mercado de plásticos injetados para o setor alimentício tem se tornado cada vez mais competitivo. Nesse contexto, atender ou até mesmo superar as necessidades do cliente é de fundamental importância para o crescimento da empresa. Para isso, o controle da qualidade dos produtos produzidos a partir de injeção plástica é algo extremamente necessário. No caso dos lacres plásticos para linguiça produzidos pela Plásticos Pasquali, havia uma demanda para o controle de um parâmetro ainda não controlado, a força mínima para o seu fechamento. A falta de opções economicamente viáveis no mercado, trouxe a oportunidade de desenvolvimento de uma solução para controlar este novo parâmetro.

Este projeto foi executado utilizando a metodologia de Pahl et al (2005) e os conhecimentos adquiridos durante o curso de Engenharia Mecânica. A sequência adotada envolveu a estrutura clássica de desenvolvimento de produtos, facilitou a organização de ideias e permitiu executar o projeto de uma forma mais confiável, acreditando que a utilização das ferramentas empregadas trariam um resultado satisfatório. A partir da avaliação dos requisitos mais relevantes, sete concepções foram elaboradas e devidamente estudadas a fim de encontrar aquela que tivesse o maior potencial de utilização, a partir da matriz de avaliação modificada. Todo o modelamento e dimensionamento do protótipo foi realizado utilizando o *software* SolidWorks, o que facilitou muito o dimensionamento e idealização do projeto. Já o projeto eletrônico foi desenvolvido utilizando a plataforma do Arduino para realização do código e o *software* Eagle para o projeto da placa de circuito. Este *software* facilitou muito a organização dos componentes na placa e a definição da localização das trilhas de ligação entre os componentes.

Por ser um projeto relativamente simples, a fabricação e montagem do dispositivo foi realizada utilizando ferramentas simples disponíveis em casa, como, furadeira, esmerilhadeira, lixas manuais, etc. Isso possibilitou o aprendizado de diferentes técnicas de fabricação artesanal. A maioria dos componentes utilizados no protótipo são facilmente encontrados no mercado, além disso, a desmontagem

do produto é muito simples. Por conta disso, caso necessária, a manutenção do dispositivo é simples e barata.

Com o protótipo montado e devidamente instalado, foi possível realizar os testes para retirada de dados e obtenção de conclusões sobre o funcionamento do mesmo. Nos primeiros testes já foi verificado a robustez e estabilidade da estrutura, bem como a facilidade de manuseio do dispositivo. A transmissão dos dados para o computador se dá de forma automática ao apertar um botão. O teste estático realizado com pesos padrão mostrou que o sistema possui uma ótima precisão e assertividade. Porém, como as medições nos lacres envolve um processo dinâmico de medição, foram feitos teste dinâmicos utilizando um mecanismo que apresenta um comportamento semelhante ao do fechamento dos lacres plásticos para linguixa. Os testes dinâmicos mostraram que o sistema apresenta uma boa repetitividade, precisão e um boa incerteza de medição para esta aplicação.

Portanto, ao final deste trabalho foi obtido um protótipo funcional que mede a força mínima de fechamento dos lacres plásticos produzidos pela Plásticos Pasquali, de forma fácil e rápida, salvando todos os dados obtidos em uma planilha no excel. Com isso, a empresa poderá controlar estatisticamente mais um parâmetro no seu produto e assim melhorar cada vez mais os processos envolvidos na produção dos seus lacres.

## **6.1 Melhorias para trabalhos futuros**

Apesar de o protótipo estar funcionando de forma prática e funcional, após toda a fabricação, montagem e testes no produto, foram identificadas algumas melhorias que auxiliariam o operador na utilização do sistema e poderiam ser implantadas em futuros trabalhos. Estas melhorias estão descritas a seguir

### **1) Fixação e posicionamento do lacre na morsa:**

Para facilitar o posicionamento dos lacres na morsa, poderia ser fabricado uma peça que permita o encaixe do lacre na posição correta, de maneira mais fácil e rápida. Para isso poderiam ser utilizados os furos roscados já disponíveis na morsa.

2) Alarme para indicar o limite da célula de carga:

Para evitar que algum operador despreparado force demais a célula de carga, poderia ser acoplado ao sistema eletrônico um alarme que apitasse quando a força medida pela célula de carga passasse de 5 kg.

3) Detecção automática do fechamento do lacre:

Para evitar possíveis erros do operador na visualização do fechamento do lacre, poderia ser incluído no projeto um sistema que detectasse automaticamente o momento do fechamento do lacre, encerrando a medição.

4) Automatização do giro do fuso trapezoidal:

Para maior comodidade do operador do dispositivo, poderia ser acoplado no lugar da manivela um motor de passo para controlar a rotação do fuso trapezoidal

5) Automatização de todo o sistema

Caso sejam feitas todas as alterações propostas anteriormente de forma interligada, o sistema poderia ser todo automatizado, restando ao operador somente colocar e tirar o lacre do sistema de fixação.

Outra recomendação para trabalhos futuros, é o estudo mais aprofundado nas incertezas de medições envolvidas no dispositivo. Os estudos feitos neste trabalho tiveram algumas limitações, como o número de lacres disponíveis para avaliação. Sendo assim, na empresa será possível pegar amostras maiores de lacres e obter resultados mais confiáveis.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **14280**: Cadastro de acidente do trabalho. Rio de Janeiro, 2001. 94 p. Disponível em: <<http://www.alternativorg.com.br/wdframe/index.php?&type=arq&id=MTE2Nw>>. Acesso em: 14 set. 2019.

BACK, N. et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri, Manole, 2008.

BACK, N. **Metodologia de Projeto de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia Prático para o design de novos produtos**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2. ed., 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. **Lesão por esforço repetitivo LER e DORT**. Brasília, DF, 2000. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo\\_ler.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/protocolo_ler.pdf)>. Acesso em 20 março de 2019.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

CANEVAROLO, Sebastião Vicente. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2006. 280 p.

COMPRAMAIS. **Kit Eixo Retificado 500x8mm Completo Suportes+pillow Block**. 2019. Disponível em: <<http://www.compramais.net/br/produto/950576790/kit-eixo-retificado-500x8mm-completo-suportes-pillow-block>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

DÉBORA Maria Santos. **LER/DORT atinge 3,5 milhões de trabalhadores**. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/noticias/detalhe-da-noticia/2016/2/pesquisadores-da-fundacentro-comentam-sobre-a-lerdort>> Acesso em 24/05/2019.

GALDAMEZ, E. V. C.; CARPINETTI, L. C. R. **Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica**. 2004. 14 p. Departamento de Engenharia de Produção, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo, v.11, n.1, p.121-134, jan.-abr. 2004.

GUILHERME, José. **Extensômetria (Strain Gauge) – O que é? Quando utilizar?** 2016. Disponível em: <<http://ensus.com.br/extensometria-strain-gauge-o-que-e-quando-utilizar/>>. Acesso em: 14 set. 2019.

HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos: projetos e princípios básicos.** São Paulo: Artliber, 2008. 308 p.

INMETRO, **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia (VIM), 2.<sup>a</sup> Edição,** Brasília, 2000.

INSTRUTHERM (Brasil). **SUPORTE DE BANCADA MOD. SB-030 COMPATÍVEL COM DINAMÔMETROS MOD. DD 005 / 020 / 200 / 500.** 2019. Disponível em: <<https://www.instrutherm.net.br/suporte-de-bancada-mod-sb-030-usado-nos-dinamometros-mod-dd-005-020-200-500.html>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

INVESTEXPORTBRASIL. **O mercado brasileiro para polipropileno originário da colômbia.** Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.investexportbrasil.gov.br/sites/default/files/publicacoes/PSCI/PSCIColombiaPolipropileno.pdf>>. Acesso em: 10 março. 2019.

KLECKERS, Thomas. **Como um sensor de força realmente funciona:** Sensores de força baseados em *strain gages*. Disponível em: <<https://www.hbm.com/pt/6697/artigo-como-um-sensor-de-forca-realmente-funciona/>>. Acesso em: 14 set. 2019.

KOYANAGI, Fernando. **Arduino Uno com fuso e motor de passo.** 2018. Disponível em: <<https://www.fernandok.com/2018/02/arduino-uno-com-fuso-e-motor-de-passo.html>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

LAZZARI, Jair. **Imagens dos desenhos 3D dos moldes para injeção plástica dos lacres para linguça.** [Mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <[fernandogs2010@hotmail.com](mailto:fernandogs2010@hotmail.com)>. Em: 29 abr. 2019.

LIMA Junior, P. et al. **O laboratório de mecânica.** Porto Alegre: IF-UFRGS, 2012. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/fis1258/index\\_arquivos/TXT\\_04.pdf](http://www.if.ufrgs.br/fis1258/index_arquivos/TXT_04.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2019.

LIMA, Luís Gonzaga. **As incertezas das medições: pontos críticos e simplificações para a metrologia dimensional.** Santa Bárbara d'Oeste: FEMP, UNIMEP, 1999. 178 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, 1999.

MACHADO, G. 2002. **Estudo da morfologia e cristalinidade em polipropileno isostático submetido à deformação uniaxial em temperatura ambiente**. Porto Alegre-RS. Tese Programa de Pós-graduação em Ciências dos Materiais – PGCIMAT, da Universidade Federal do Rio grande do Sul, p. 199.

MANO, E. L.; MENDES, L. C. 1999. **Introdução a polímeros**. São Paulo-SP Segunda Edição revisada e ampliada. Editora Blucher, p. 191.

MANRICH, S. 2005. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo-SP. Editora Artliber, p. 431.

Montgomery, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MUKHOPADHYAY, P.; SRIVASTAVA, S. **Ergonomics risk factors in some craft sectors of Jaipur**. HFESA Journal, Austrália, 01 mar. 2010. Volume 24, Issue 1, pages 04-14.

OLIVEIRA, R. V. B.; PINHEIRO, E. A.; SOLDI, V.; PIRES, A. T. N. - Departamento de Química, UFSC; FREDEL, M. C. - Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC. **Moldagem por injeção de pós cerâmicos: remoção da parafina e do polipropileno utilizados como veículo orgânico**, 2004. 6 p.

OSG CORPORATION (Brasil). **TOLERÂNCIA DO DIÂMETRO DE FURO PARA ROSCAR - MACHO DE CORTE: Metric Thread DIN 13. ISO 724/965.1**. 2004. Disponível em: <[https://osg.com.br/docs/infotecs/09\\_ToleranciaDoDiametroDoFuro.pdf](https://osg.com.br/docs/infotecs/09_ToleranciaDoDiametroDoFuro.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2019.

OTTO, K; WOOD, K. **Product Design – Techniques in Reverse Engineering and new product development**. Ney Jersey, 2001.

PADILHA, Angelo Fernando. **Materiais de engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus, 1997. 349 p.

PAHL, G. et al. **Projeto na Engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. Edgard Blücher. São Paulo. 2005.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering Design: A Systematic Approach**. 2.ed. Londres: Springer Verlag, 1996.

PAULA, Luana Nascimento de; ALVES, Adriano Rosa; NANTES, Eliza Adriana Sheuer. **A IMPORTÂNCIA DO CONTROLE DE QUALIDADE EM INDÚSTRIA DO SEGMENTO ALIMENTÍCIO**. 2016. Disponível em: <<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistaconhecimentoonline/article/view/1077>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

PLÁSTICOS PASQUALLI (Santa Catarina). **Lacre para linguças e embutidos**. 2010. Disponível em: <<https://www.escavador.com/patentes/206378/lacre-para-linguicas-e-embutidos>>. Acesso em: 14 set. 2019.

PUGH, S. - **Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering**. Addison-Wesley Publishing Company, 1991.

RAMOS, A. W. **CEP para processos contínuos e em bateladas**. Editora EDGARD BLUCHER LTDA: São Paulo, 2000.

RAMOS, Fábio Alexandre. **Influência da manutenção em uma fábrica de transformação de plásticos**. 2009. 57 p. Monografia (Tecnólogo em Produção com ênfase em Plástico) – Centro Tecnológico da Zona Leste, Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2009.

RIBEIRO, J. L. D.; CATEN C. S. T. **Controle Estatístico do Processo**. 2012 Disponível em <[http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388\\_apostilacep\\_2012.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/388_apostilacep_2012.pdf)>. Acesso em: 24/05/2019.

RIBEIRO, Leandro dos Santos. **Evolução tecnológica e automação das máquinas injetoras**. 2009. 77 p. Monografia (Tecnólogo em Produção com ênfase em Plástico) – Centro Tecnológico da Zona Leste, Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2009.

ROMEIRO FILHO, E. (Coord). **Projeto do Produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

Sadao Yoshinaga. **PIEZOELECTRIC TYPE GAS LIGHTER**. EUA nº US3741714A, 22 jul. 1971, 26 jun. 1973. Google Patents. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/93/fe/00/e8bb2c65de9c8f/US3741714.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

SADDAN. **Arduino Weight Measurement using Load Cell and HX711 Module**. 2017. Disponível em: <<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-weight-measurement-using-load-cell>>. Acesso em: 14 set. 2019.

SHACKELFORD, James F. **Introduction to material science for engineers**. 6th. Prentice Hall, 2005. 878 p.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino?** 2014. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>>. Acesso em: 14 set. 2019.

ULLMAN, D. G., **The mechanical design process**. Singapore: McGraw-Hill Book,

USINA INFO (Ed.). **Arduino UNO R3**. 2019. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/compativeis/arduino-uno-r3-cabo-usb-3513.html>>. Acesso em: 14 set. 2019.

WEN, J. C. H.; CÔRTEZ, B. P. **Moldagem por injeção**. 1ª ed. Polialden Petroquímica S.A., 1990. 98 p.



## APÊNDICE A – CASA DA QUALIDADE

Neste apêndice está a casa da qualidade que foi formada com o mapeamento dos requisitos de projeto do produto e os requisitos do usuário. Foi avaliado o cruzamento entre estes dados e quantificou-se a importância que cada um dos requisitos do cliente possui perante os requisitos técnicos de projeto. Como resultado obteve-se uma pontuação e uma classificação crescente de quais requisitos deveriam ser defendidos com maior importância.

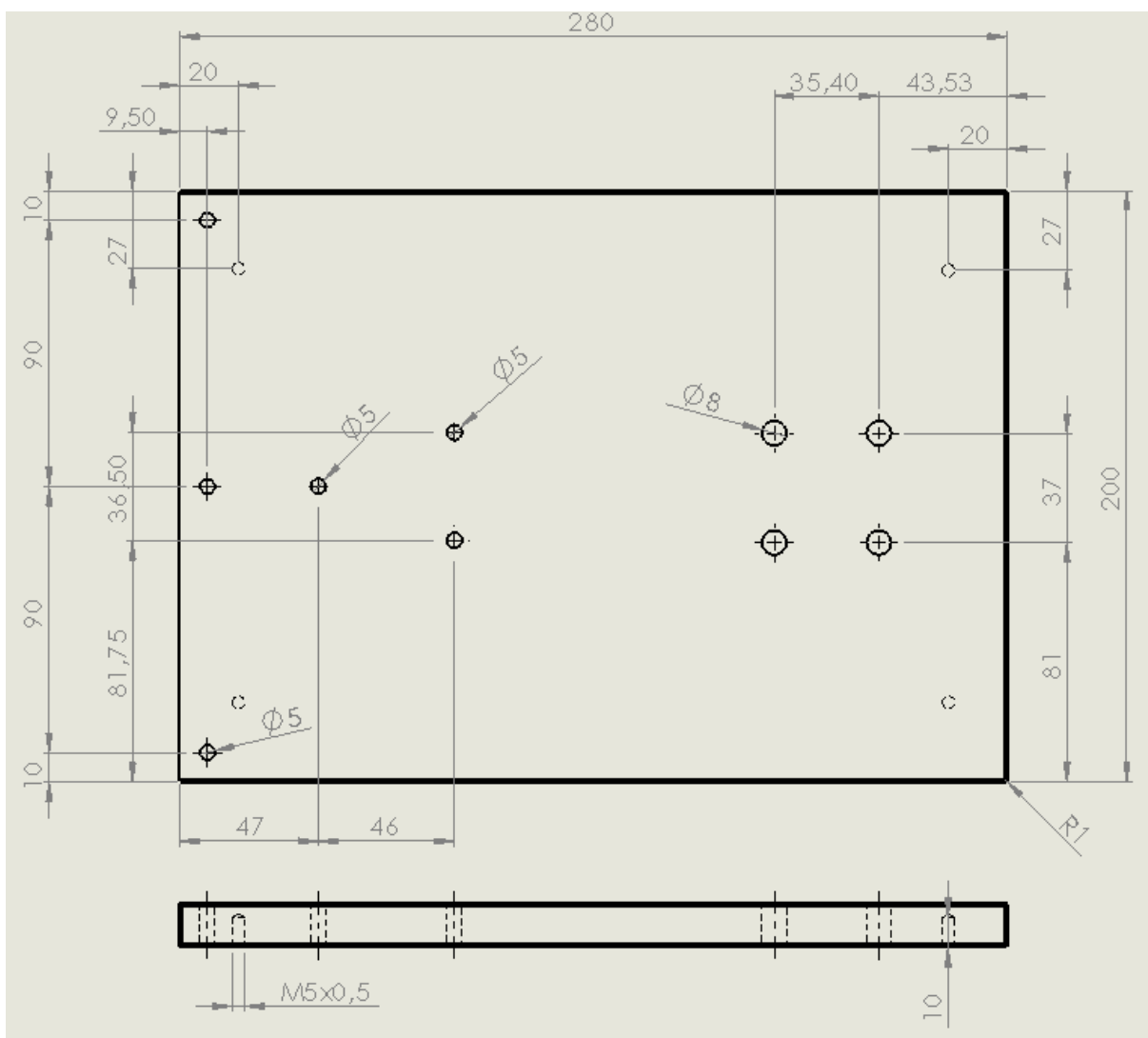
		<b>Casa da qualidade</b>																	
		<b>Direcionador de melhoria &gt;&gt;&gt;&gt;</b>																	
<b>Requisitos de projeto</b>		↑ ↑ ↑ ↑ ↓ ↓ ↑ ↑ ↓ ↓ ↑ ↑ ↑ ↑																	
		Projeto simplificado	Facilidade de fabricação	Disponibilidade de equipamentos para a fabricação	Montagem simplificada	Resistência material	custos	Qualidade do sistema de medição	Controle do deslocamento	Precisão do sistema de medição	Conectividade	Desgaste	Ergonomia	Flexibilidade de encaixe	Confiabilidade	Componentes comerciais	Peso absoluto	Importância ou peso	
<b>Requisitos do usuário</b>	Fácil manutenção	3	3	1	9	3					3			1	9	2	4		
	Robustez/Estabilidade da estrutura				9	3	3			1	1	9				5	9		
	Durabilidade				9	9	9	3		9		3				2	4		
	Baixo custo	9	9	9	3	3	9	9	3	9	3	3	9	9		10	18		
	Deslocamento preciso				3	3	9	3	9		3	9	3	3		5	9		
	Precisão de medição				3	9	9	3	9	3	3	3	3	3		2	4		
	Facilidade de transmissão dos dados para o computador					3				9					3	4	7		
	Repetitividade das medições				3	3	9	3	3		3	3		3	3	7	13		
	Facilidade de manuseio					3	9		9		9	3		3		5	9		
	Possibilidade de medição de diferentes tamanhos de lares				1		1					9				5	9		
	Fácil Calibração	1				3	3			3				3	9	4	7		
	Sem perigos para operador							9						3	3	5	9		
	<b>Grau de importância (requisitos de projeto)</b>	<b>179</b>	<b>171</b>	<b>164</b>	<b>95</b>	<b>241</b>	<b>405</b>	<b>359</b>	<b>380</b>	<b>230</b>	<b>220</b>	<b>127</b>	<b>298</b>	<b>161</b>	<b>379</b>	<b>380</b>	<b>3789</b>	<b>56</b>	<b>100</b>
	<b>Percentual</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>100</b>		
<b>Classificação dos requisitos</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>3</b>				

Figura 46 - Casa da qualidade

Fonte: Autor

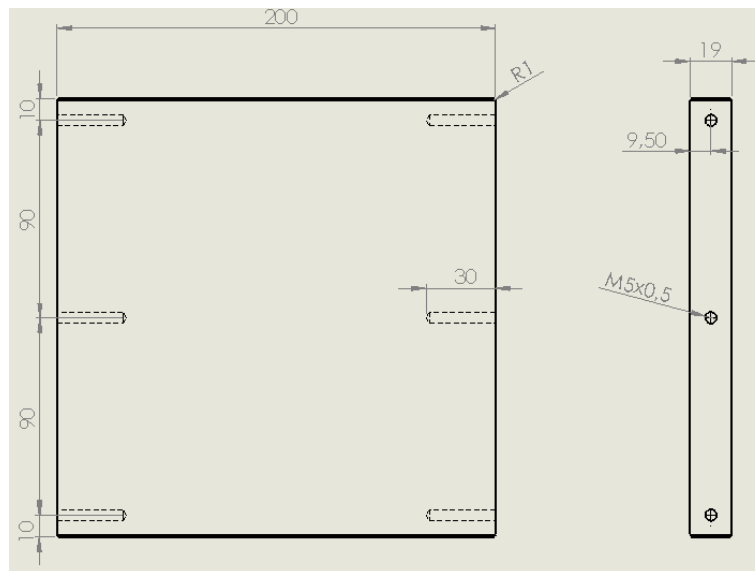
## APÊNDICE B – DESENHOS DE FABRICAÇÃO

A seguir estão os desenhos de fabricação das chapas de alumínio utilizadas na estrutura do projeto. Todos os furos nas chapas possuem um chanfro de 1mm e 45 graus de ângulo para facilitar o encaixe dos parafusos. A rugosidade das chapas não é importante e não foi incluída nos desenhos. As tolerâncias de posição dos furos devem ser as menores possíveis para evitar desalinhamentos. As roscas foram feitas seguindo as condições recomendadas pela OSG Corporation (2004), conforme mostra o Quadro 16 disposto no anexo A. Os furos que não possuem rosca têm uma tolerância de +0,5 mm.



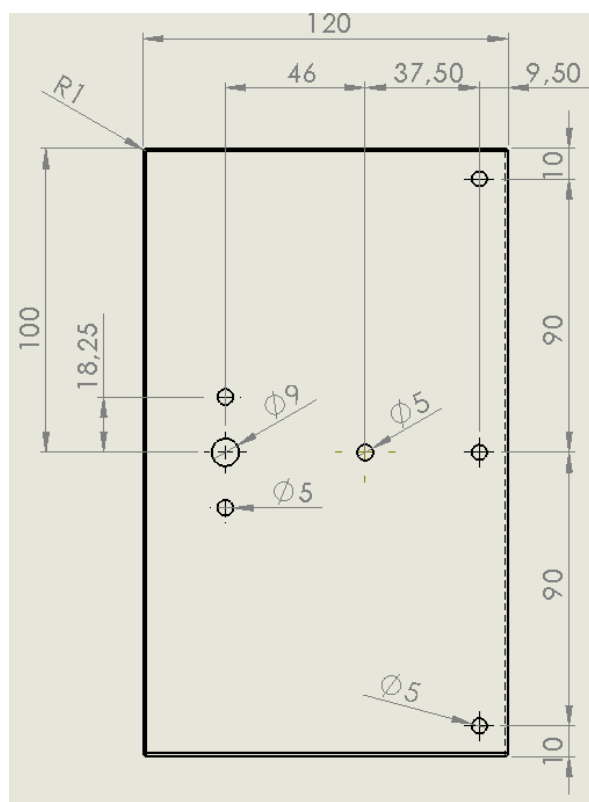
**Figura 47 - Desenho de fabricação da base da estrutura.**

**Fonte: Autor**



**Figura 48 - Desenho de fabricação do fundo da estrutura.**

**Fonte: Autor**



**Figura 49 - Desenho de fabricação do teto da estrutura.**

**Fonte: Autor**

## APÊNDICE C – CÓDIGO DA PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA EM ARDUINO

Neste apêndice está o código que foi programado e enviado ao Arduino para o funcionamento do sistema eletrônico de medição. Cada etapa do código está comentada para facilitar o seu entendimento.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); //ENDEREÇO DO I2C
E DEMAIS INFORMAÇÕES

// --- Mapeamento de Hardware ---
#define ADDO 2 //Data Out
#define ADSK 3 //SCK
const int pinoret = 7; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO PUSH BUTTON LIGA
const int pinotara = 8; //PINO DIGITAL UTILIZADO PELO BOTÃO AMARELO

// --- Protótipo das Funções Auxiliares ---
unsigned long ReadCount(); //conversão AD do HX711

// --- Variáveis Globais ---
unsigned long convert;
float x; //variável para cálculo pela função de reta.
float y; //Carga medida no Hora
float z; //carga inicial usada pra tarar a balança
float c; //variável usada para tarar a balança quando liga o programa
float n; //Carga em Newtons
float maxima=0; // Carga maxima computada na seção
float minima=0; // Carga minima (maxima negativa)
int L = 2; // variável de controle para ligar/desligar
int linha = 0; // variavel que se refere as linhas do excel
int LABEL = 1;
int contador = 2;
// --- Configurações Iniciais ---
void setup()
{
  pinMode(12, OUTPUT); //PINO 12 USADO PARA O LED DO BOTÃO COM RETENÇÃO
  pinMode(pinoret, INPUT_PULLUP); //DEFINE O PINO COMO ENTRADA / "_PULLUP"
  É PARA ATIVAR O RESISTOR INTERNO
  //DO ARDUINO PARA GARANTIR QUE NÃO EXISTA FLUTUAÇÃO ENTRE 0 (LOW) E 1
  (HIGH)
  pinMode(pinotara, INPUT_PULLUP); //DEFINE O PINO COMO ENTRADA / "_PULLUP"
  É PARA ATIVAR O RESISTOR INTERNO
  //DO ARDUINO PARA GARANTIR QUE NÃO EXISTA FLUTUAÇÃO ENTRE 0 (LOW) E 1
  (HIGH)
  lcd.begin(16,2); //SETA A QUANTIDADE DE COLUNAS(16) E O NÚMERO DE
  LINHAS(2) DO DISPLAY
  lcd.setBacklight(HIGH); //LIGA O BACKLIGHT (LUZ DE FUNDO)
  pinMode(ADDO, INPUT_PULLUP); //entrada para receber os dados DT
  pinMode(ADSK, OUTPUT); //saída para SCK
```

```

Serial.begin(9600);
Serial.println("CLEARDATA"); // Reset da comunicação serial
Serial.println("LABEL, Hora, Carga Max., Carga Min., Linha"); // Nomeia as
colunas
} //end setup

// --- Loop Infinito ---
void loop()
{
Serial.println(L);
if(L==2){
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print("INICIALIZAR"); //IMPRIME O TEXTO NO DISPLAY LCD
L=3;
delay(200);
}
if(digitalRead(pinoret) == LOW){ //SE A LEITURA DO PINO FOR IGUAL A LOW,
FAZ
if (L==0)
{
digitalWrite(12, HIGH); // Ativamos o pino 12 (colocando 5v nele)
L=1;
c=0;
maxima=0;
minima=0;
lcd.clear();
Serial.println("ligando");
delay(200);
}
if(digitalRead(pinoret) == HIGH){ //SE A LEITURA DO PINO FOR IGUAL A
HIGH, FAZ
if(L==1){
digitalWrite(12, LOW);
L=0;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print("DESLIGADO"); //IMPRIME O TEXTO NO DISPLAY LCD
Serial.println("desligando");
linha++; // incrementa a linha do excel para que a leitura pule de linha
em linha
Serial.print("DATA, TIME, "); //inicia a impressão de dados, sempre
iniciando
Serial.print(maxima);
Serial.print(", ");
Serial.print(minima);
Serial.print(", ");
Serial.println(linha);
delay(500);
}
}
// Tara o Sistema
if(digitalRead(pinotara) == LOW){ //SE A LEITURA DO PINO FOR IGUAL A LOW,
FAZ
if(digitalRead(pinoret) == HIGH){ //SE A LEITURA DO PINO FOR IGUAL A
HIGH, FAZ
convert = ReadCount();
z=convert;
L=0;

```

```

delay(500);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print("INICIALIZA A"); //IMPRIME O TEXTO NO DISPLAY LCD
lcd.setCursor(0,1); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print("MEDICAO"); //IMPRIME O TEXTO NO DISPLAY LCD
}
}
// Chama Função de Medição.
if(L==1)
{
convert = ReadCount();
y = convert;
x = (y-z)*0.002425800817; // Função de Reta para Calibração.
n = x*0.00981;
Serial.println(convert);

Serial.println("Massa aplicada em Gramas");
Serial.println(x);
Serial.println("força em N");
Serial.println(n);

if (contador==2)
{
lcd.setCursor(0,0); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print("FORÇA:"); //IMPRIME O TEXTO NO DISPLAY LCD
lcd.setCursor(15,1); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print("N"); //IMPRIME O TEXTO NO DISPLAY LCD
lcd.setCursor(0,1); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0,1); //SETA A POSIÇÃO DO CURSOR
lcd.print(n); //IMPRIME O TEXTO NO DISPLAY LCD
contador=0;
}
contador=contador+1;
if (n>maxima)
{
maxima=n;
}
if (n<minima)
{
minima=n;
}

delay(0); // Intervalo entre medições em milisegundos

}

}
//end loop

// --- Funções ---
unsigned long ReadCount()
{
unsigned long Count = 0;
unsigned char i;

digitalWrite(ADSK, LOW);

while(digitalRead(ADDO));

```

```
for(i=0;i<24;i++)
{
digitalWrite(ADSK, HIGH);
Count = Count << 1;
digitalWrite(ADSK, LOW);
if(digitalRead(ADDO)) Count++;
} //end for

digitalWrite(ADSK, HIGH);
Count = Count^0x800000;
digitalWrite(ADSK, LOW);

return(Count);
} //end ReadCount
```

## APÊNDICE D – TESTES DO SISTEMA DE MEDIÇÃO

A seguir estão as 50 medições realizadas no sistema utilizando o mecanismo piezoelétrico com uma velocidade de medição de aproximadamente 4 segundos.

Medição	Força (N)
1	22,00
2	21,43
3	21,63
4	21,61
5	21,49
6	21,36
7	21,49
8	21,51
9	21,51
10	21,22
11	21,40
12	21,16
13	21,38
14	21,15
15	20,73
16	21,12
17	21,08
18	21,13
19	21,23
20	21,23



21	21,63
22	21,22
23	21,44
24	21,18
25	21,48
26	21,29
27	21,48
28	21,41
29	20,69
30	21,50
31	21,46
32	21,41
33	21,24
34	21,11
35	21,39
36	21,60
37	21,03
38	21,47
39	21,09
40	21,18
41	21,36
42	21,40
43	21,32
44	21,25
45	21,04

46	21,36
47	21,24
48	21,27
49	21,33
50	21,36

## ANEXO A – RECOMENDAÇÕES PARA ROSQUEAMENTO

Quadro 16 - Recomendações para rosqueamento com machos de rosca métrica.

Tamanho da Rosca Thread Size	Diâm. da Broca Drill Diameter	Tolerância da Rosca Interna 6H (Classe 2) Internal Thread Tolerance 6H (Class 2)	
		Mín.	Máx.
M 1 X 0,25	0,75	(0,729)	(0,785)
M 1 X 0,2	0,8	(0,783)	(0,821)
M 1,1 X 0,25	0,85	(0,829)	(0,885)
M 1,1 X 0,2	0,9	(0,883)	(0,921)
M 1,2 X 0,25	0,95	(0,929)	(0,985)
M 1,2 X 0,2	1,0	(0,983)	(1,021)
M 1,4 X 0,3	1,1	(1,075)	(1,142)
M 1,4 X 0,2	1,2	(1,183)	(1,221)
M 1,6 X 0,35	1,25	1,221	1,321
M 1,6 X 0,2	1,4	(1,383)	(1,421)
M 1,7 X 0,35	1,35	1,321	1,421
M 1,7 X 0,2	1,45	1,46	1,5
M 1,8 X 0,35	1,45	1,421	1,521
M 1,8 X 0,2	1,6	(1,583)	(1,621)
M 2 X 0,4	1,6	1,567	1,679
M 2 X 0,25	1,75	(1,729)	(1,785)
M 2,2 X 0,45	1,75	1,713	1,838
M 2,2 X 0,25	1,95	(1,929)	(1,985)
M 2,3 X 0,4	1,9	1,867	1,979
M 2,3 X 0,25	2,05	2,001	2,061
M 2,5 X 0,45	2,1	2,013	2,138
M 2,5 X 0,35	2,2	2,121	2,221
M 2,6 X 0,45	2,2	2,113	2,238
M 2,6 X 0,35	2,2	2,186	2,246
M 3 X 0,5	2,5	2,459	2,599
M 3 X 0,35	2,7	2,621	2,721
M 3 X 0,6	2,4	2,28	2,44
M 3,5 X 0,6	2,9	2,85	3,01
M 3,5 X 0,35	3,2	3,121	3,221
M 4 X 0,7	3,3	3,242	3,422
M 4 X 0,5	3,5	3,459	3,599
M 4 X 0,75	3,25	3,106	3,326
M 4,5 X 0,75	3,8	3,688	3,878
M 4,5 X 0,5	4,0	3,959	4,099
M 5 X 0,8	4,2	4,134	4,334
M 5 X 0,5	4,5	4,459	4,599
M 5 X 0,9	4,1	3,93	4,17
M 5,5 X 0,9	4,6	4,43	4,67
M 5,5 X 0,5	5,0	4,959	5,099
M 6 X 1	5,0	4,917	5,153

Fonte: Osg Corporation (2004).