UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM MECANISMO DE IMPRESSÃO BRAILLE POR MEIO DE AR COMPRIMIDO

Kelvin Yuso Tamura
Vitor Zago de Almeida Paciello

São Paulo
2010

UINIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ESTUDO DE VIABILIDADE DE UM MECANISMO DE IMPRESSÃO BRAILLE POR MEIO DE AR COMPRIMIDO

Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Graduação em Engenharia

Kelvin Yuso Tamura

Vitor Zago de Almeida Paciello

Orientador: Raúl Gonzales Lima

Área de Concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
2010

Ficha catalográfica

Tamura, Kelvin Yuso e Paciello, Vitor Zago de Almeida

Estudo de viabilidade de um mecanismo de impressão Braille por meio de ar comprimido, por K.Y. Tamura e V.Z.A. Paciello. São Paulo : EPUSP, 2010. 23p.

Trabalho de formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Impressão Braille por ar comprimido 2. Método dos elementos finitos

3. Mecanismo de liberação de ar comprimido |. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica |||. t .

Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo de viabilidade de um mecanismo de impressão em Braille por ar comprimido. Tal mecanismo deve ser capaz de conformar o papel por meio de uma rápida liberação de ar comprimido, sobre um pino fixo, obedecendo à norma de padronização da escrita Braille NBR9050. Para isto, o texto apresenta uma análise por elementos finitos de uma simulação da conformação do ponto Braille na folha de papel. Um estudo detalhado de um mecanismo capaz de promover uma rápida liberação de ar comprimido, assim como, um do pino fixo. Além disto, este texto apresenta uma descrição da construção do protótipo desenvolvido para se comprovar as análises teóricas apresentadas neste escopo, e o projeto do mecanismo adaptado para a utilização em impressão.

Abstract

This paper presents a viability study for a mechanism for printing in Braille by compressed air. Such mechanism must be capable of conforming a sheet of paper, on a fixed pin, by rapidly releasing compressed air and following the Standard of standardization of Braille NBR9050. For this, the text provides an analysis by finite elements of a simulation of the conformation of Braille point on a sheet of paper. A detailed study of a mechanism capable of promoting a rapid release of compressed air, as well as, one of the fixed pin. Moreover, this text also provides a description of the construction of the prototype that will be developed to verify the theoretical analysis presented in this scope, and a design mechanism adapted for use in printing.

Lista de Figuras

Figura 1- Cela Braille.....12

Figura 2– Forças atuantes no papel.....13

Figura 3– Forças resultantes na região do papel em contato com o pino.....14

Figura 4 - Pino a ser simulado. Linha tracejada delimita possíveis áreas para aplicação de pressão.....15

Figura 5- Sólido criado por extrusão de um retângulo.....17

Figura 6 - Circunferências criadas no "partition face: sketch".....18

Figura 7 - Pressão aplicada na região compreendida entre as duas circunferências.....19

Figura 8- Sólido com carregamentos e condições de fronteira.....20

Figura 9 - Malha criada pelo comando “mesh part instance”.....21

Figura 10 - Resultado obtido na análise do experimento de Kaihami [3].....22

Figura 11 - Espectro de tensões para a simulação com um bocal de diâmetro 8,0 mm.....24

Figura 12 – Espectro de tensões para a simulação com um bocal de diâmetro 5,0 mm.....25

Figura 13– Espectro de tensões para a simulação com um bocal de diâmetro 3,4 mm.....25

Figura 14 - Funcionamento do mecanismo de liberação de ar comprimido: a)- mecanismo travado em sua posição inicial; b)-Configuração do mecanismo após a liberação do martelo; c)-Mecanismo recarregado.....29

Figura 15 - Localização do reservatório de ar, do corpo da válvula e da câmara de colisão.....30

Figura 16 – Disposição das peças do gatilho para o marcador na posição não carregada.....30

Figura 17– Disposição do conjunto do gatilho na posição carregada.....31

Figura 18– Posição do conjunto ao se puxar o gatilho.....32

Figura 19– Dimensões do pino.....34

Figura 20- Foto do pino de teste.....37

Figura 21 - Foto do disparo do marcador sobre o papel.....37

Figura 22 – Croqui da base do protótipo. 40

Figura 23 – Croqui da barra lateral.....40

Figura 24 – Croqui da barra superior.....41

Figura 25 – Imagem do protótipo construído.....42

Lista de tabelas

Tabela 1 - Valores dos diâmetros do bocal e pressão do pino ensaiados.....…23

Tabela 2 - Resultados obtidos pelo teste do protótipo.....38

Tabela 3 – Composição dos anéis de vedação e o tipo de lubrificante apropriado.....48

Tabela 4 – Falha nos componentes do marcador.....48

Sumário

1. INTRODUÇÃO....9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA....10
2.1 Norma NBR9050 11
3. -MATERIAIS E MÉTODOS 12
3.1 –Estudo dos esforços sobre o papel 12
3.2 – Análise por elementos finitos....14
3.2.1 - Análise do experimento de Fábio J.K. 15
3.2.2. - Resultado das simulações 21
3.2.2.1 - Análise do experimento realizado por Kaihami 21
3.2.2.2 - Determinação do diâmetro do bocal 22
3.2.2.3 - Caso diâmetro do bocal =8,0mm 23
3.2.2.4 - Caso diâmetro do bocal =5,0mm 24
3.2.2.5 - Caso diâmetro do bocal =3,4mm 25
3.2.3. - Discussão dos resultados da análise por elementos finitos....26
3.3 - Estudo preliminar do mecanismo de liberação do ar comprimido 27
3.3.1 - Funcionamento do sistema 28
3.3.2 - Mecanismo do gatilho....30
3.3.3 - Dimensionamento do bocal 32
3.3.4 - Estudo do pino 33
3.3.5 - Estudo do sistema de deslocamento vertical 34
3.4 - Testes preliminares do protótipo 35
3.4.1 - Descrição do equipamento....36
3.4.2 - Procedimentos experimentais 36
3.4.3 - Resultados obtidos no experimento 37
3.4.4 - Discussão dos resultados dos testes preliminares....39
3.5 - Construção do protótipo 40
3.6 – Projeto do mecanismo de liberação de ar comprimido 42
3.6.1 Lubrificação do mecanismo 46
3.6.2 Possíveis locais de falha no componente 48
4. CONCLUSÕES 49
5. APÊNDICE....51
6. ANEXO 65
7. LISTA DE REFERÊNCIAS 67

1. INTRODUÇÃO

Louis Braille, nascido em 1809, em uma pequena cidade da França, perdeu a visão com três anos de idade em um acidente enquanto brincava na oficina do pai. Aos seus quinze anos, foi responsável pela criação e desenvolvimento de um sistema de leitura e escrita para deficientes visuais. O sistema é constituído por um arranjo de seis pontos em relevo (cela Braille), dispostos em duas colunas de 3 pontos cada, que combinados entre si, representam as letras do alfabeto. Em 1837, o sistema foi definido como estrutura padrão, sendo utilizado mundialmente e conhecido por sistema Braille.

Atualmente, os pontos em relevo são feitos por meio de impressoras Braille, as quais utilizam pinos movidos por solenóides que são lançados contra o papel para, assim, conformá-lo. Este processo, porém, apresenta um alto custo, devido ao elevado preço dos pinos, que, por serem extremamente delicados e pequenos, sofrem muito desgaste, o que faz com que tenham que ser substituídos com certa freqüência.

Por meio de pesquisas de mercado, foi determinado que o valor médio de venda deste tipo de impressora no país é de R$ 24.000,00, e, caso o pino responsável pela conformação do papel seja danificado, a única maneira de se consertar o mecanismo é por meio da troca completa do carro (que consiste do sistema de solenóide e pino), cujo custo gira em torno de R$ 1500,00. Tal fato torna o valor de venda dos livros em Braille elevados, e em alguns casos pode comprometer o acesso de deficientes visuais a tal material.

O presente trabalho será baseado no trabalho de conclusão de curso de Kaihami F.J., o qual tinha como objetivo a conformação de um ponto Braille sem a utilização dos pinos movidos por solenóides. Após diversas tentativas de conformar um ponto no papel, foi verificada a possibilidade de conformar um ponto de uma cela Braille pela a utilização de um mecanismo a ar comprimido. O mecanismo é baseado em um marcador de paintball, usualmente conhecido como “arma de paintball”, que tem como função disparar ar comprimido sobre a folha de papel apoiada sobre um pino estático.

Diante desse fato, será feito neste trabalho um estudo de viabilidade do mecanismo capaz de conformar os pontos em relevo no papel, por meio da utilização de ar comprimido, de acordo com o experimento realizado no trabalho de Kaihami F.J.. Também será estudada a viabilidade de se imprimir uma cela Braille obedecendo à norma de escrita em Braille NBR 9050.

Inicialmente, será realizado um estudo deste experimento por um software de elementos finitos com a finalidade de se verificar as tensões geradas na folha de papel com a aplicação do ar comprimido. Também, será estudada a possibilidade de alterar a área e o formato do bocal do mecanismo, para a conformação de uma cela Braille.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste trabalho, alguns conceitos e propriedades de materiais da mecânica dos sólidos deverão ser utilizados para determinar a pressão de ar comprimido e as dimensões do mecanismo.

As propriedades mecânicas do papel utilizadas serão as obtidas por Fábio Junji Kaihami [3] Neste trabalho, o autor determinou as propriedades mecânicas do papel para escrita em Braille com gramatura aproximada de 125g/m^2. Como método para determinar o módulo de elasticidade e o limite de escoamento, Junji prendeu o papel à borda de uma mesa e fotografou a deformação resultante no papel quando eram colocadas massas de testes sobre ele, tendo como referência uma linha no plano da mesa.

Por este procedimento foram obtidos os seguintes valores para o papel:

Tensão limite de escoamento - $\sigma_{máx}$ = 39,8 Mpa

Módulo de elasticidade - E = 2,6 Gpa

Outros valores pertinentes encontrados por Junji são:

Espessura da folha de papel - t = 0.155mm

Densidade do papel - ρ = 40.27kg/m

Para a simulação em elementos finitos o coeficiente de Poisson do papel utilizado será 0,14 (Paulo G. Magalhães; Paulo R. de A. Figueiredo; Franco G. Dedini, 2006).

Para a determinação da pressão de ar comprimido, deve-se utilizar a relação entre pressão (P), área (A) e força (F):

$$P = \frac{F}{A}$$

No dimensionamento do bocal temos a seguinte relação pela teoria de vasos de pressão de parede espessa:

Sendo :

a - raio interno do cilindro

b - raio externo do cilindro

P_i – pressão interna ao cilindro

P_o – pressão externa ao cilindro

σ_θ – tensão no cilindro na direção tangencial

r – raio

$$\sigma_\theta = \frac{a^2}{\left(b^2 - a^2\right)}\left[\frac{b^2}{r^2} + 1\right]P_i - \frac{b^2}{\left(b^2 - a^2\right)}\left[1 + \frac{a^2}{r^2}\right]P_o$$

Por esta fórmula percebe-se que a maior tensão é obtida quando o r = a, ou seja, na parte interna do cilindro. Assim, para o dimensionamento do bocal a equação se reduz a:

$$\sigma_{esc} = \frac{a^2}{\left(b^2 - a^2\right)}\left[\frac{b^2}{a^2} + 1\right]P_i - 2\frac{b^2}{\left(b^2 - a^2\right)}P_o$$

Sendo σ_{esc} a tensão limite de escoamento do material do bocal.

Substituindo a razão entre o raio externo e o interno por γ : $\gamma = {}^{b}/_{a}$

$$\sigma_{esc} = \frac{\left(\gamma^2 + 1\right)}{\left(\gamma^2 - 1\right)}P_i - 2\frac{\gamma^2}{\left(\gamma^2 - 1\right)}P_o$$

2.1 Norma NBR9050

No sistema Braille, utiliza-se o tato para o reconhecimento dos pontos em uma cela Braille, portanto, a fim de facilitar a compressão do texto por deficientes visuais, existe a necessidade de uma padronização nas dimensões e distâncias dos pontos. Esta padronização é descrita pela norma NBR9050 – "Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos", de 31/06/2004.

De acordo com essa norma, os pontos devem seguir as seguintes dimensões:

Diâmetro na base - 2,0mm

Altura do ponto - 0,65mm

Distância vertical e horizontal entre pontos - 2,7mm

Tais medidas, bem como as referentes à cela Braille podem ser visualizadas na figura 1.

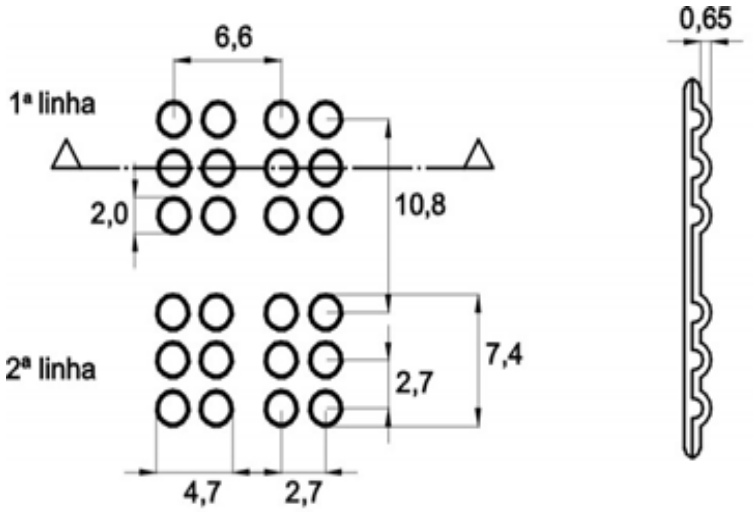


Figura 1- Cela Braille.

Retirada da referência bibliográfica [3]

3. -MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 –Estudo dos esforços sobre o papel

Para ser possível realizar um estudo da deformação do papel em um software de elementos finitos é necessário conhecer as forças e distribuições de tensão na folha de papel. Nesta seção será mostrado um estudo dos esforços sobre o papel na conformação do ponto. Iremos determinar o raio em que a pressão do ar deve ter seu maior valor para que a tensão no papel atinja a tensão de escoamento. Para isso, devemos considerar as seguintes variáveis:

D_1 - diâmetro do pino

D_2 - diâmetro interno do bocal

r - raio da área do papel em contato com o pino

t - espessura do papel

σ_e - tensão de escoamento

F - força que o pino exerce sobre o papel

P - pressão do ar

A_p - área do papel que não está em contato com o pino, $A_p = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4}$

A figura 2 mostra um esquema do processo de conformação do papel.

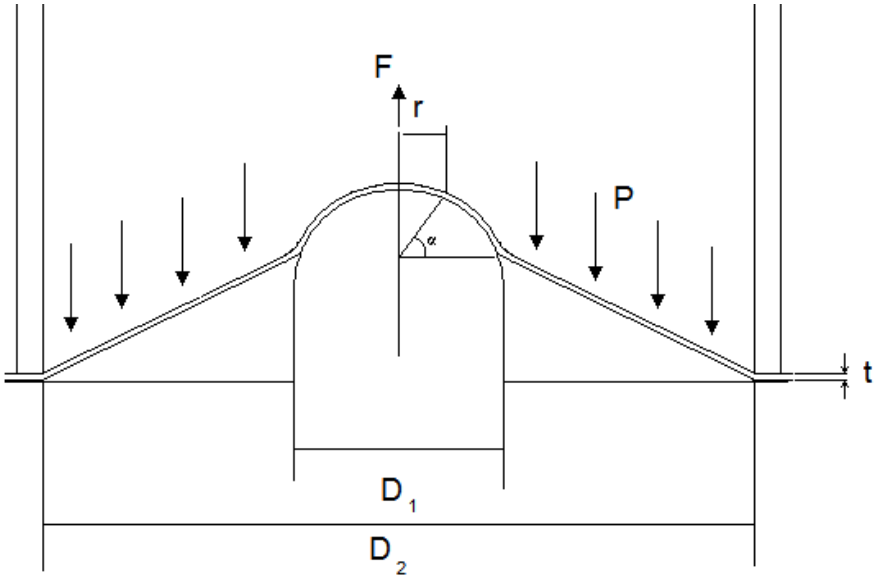


Figura 2– Forças atuantes no papel.

Considerando que a pressão do ar é apenas compensada pela força F do pino:

$$F = P \cdot A_p = \frac{P\pi(D_2^2 - (2r)^2)}{4} \qquad (1)$$

Considerando apenas a parte do papel em contato com o pino, temos:

$$F = 2\pi\ r\ t\ \sigma_e\ \cos\alpha \qquad (2)$$

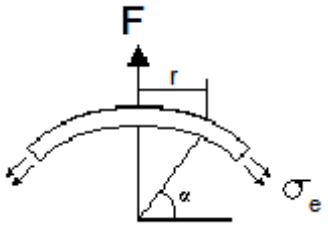


Figura 3– Forças resultantes na região do papel em contato com o pino.

Mas,

$$\cos\alpha = \frac{2r}{D_1}$$

Igualando as equações (1) e (2) e substituindo o valor de cosα, temos:

$$\frac{P\pi(D_2^2 - (2r)^2)}{4} = 2\pi\ r\ t\ \sigma_e\ \frac{2r}{D_1}$$

$$P = \frac{4t\ \sigma_e\ (2r)^2}{D_1(D_2^2 - (2r)^2)}$$

Com isso, obtemos a função P

$$P(r) = \frac{4t\ \sigma_e}{D_1\left(\left(\frac{D_2}{2r}\right)^2 - 1\right)} \qquad (3)$$

Assim, como $2r < D_2$:

$$P(r)_{máx} = P(\ D_1/2)$$

Desta forma, conclui-se que a tensão a ser observada na simulação é a tensão do papel na base do pino. A pressão do ar comprimido deve ser capaz de impor uma tensão igual à tensão de escoamento do papel (39,8 MPa) na base do pino.

3.2 – Análise por elementos finitos

A partir das dimensões impostas pela norma NBR9050, deve-se estimar o menor diâmetro necessário para conformar o papel. Para isso, será utilizado um programa de elementos finitos, no qual será feita a simulação, a princípio, para um formato de pino com a cabeça arredondada e diferentes áreas de aplicação da pressão (conforme mostrado na figura 4), desta forma pode-se determinar o menor diâmetro do bocal capaz de conformar a folha de papel no formato do pino.

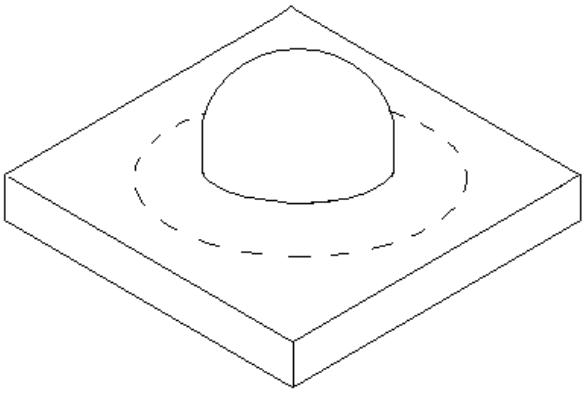


Figura 4 - Pino a ser simulado. Linha tracejada delimita possíveis áreas para aplicação de pressão.

Devido à grande complexidade deste tipo de simulação em elementos finitos, foram adotadas algumas hipóteses simplificadoras, com o intuito de reduzir a complexidade da simulação. As hipóteses simplificadoras adotadas foram:

- O papel foi simulado com um comportamento isótropo, ou seja, foi desconsiderado o efeito das fibras do papel em sua deformação;
- Foram desconsideradas as perdas de carga no escoamento do ar comprimido ao longo do mecanismo;
- Foi considerado desprezível o escape de ar entre o bocal e a folha de papel no momento da aplicação do ar comprimido sobre a folha;
- A folha de papel foi simulada com um comportamento elástico, pois, as deformações de interesse para o estudo são as que estão localizadas na base do pino (seção 3.1);

Escolhido o mecanismo, deve-se determinar os esforços ao qual o mecanismo está sujeito, para assim, ser possível o dimensionamento de seus componentes. Os principais esforços são os devidos à pressão do ar comprimido e à força necessária para posicionar o bocal sobre o papel, que também é função da magnitude da pressão do ar comprimido.

3.2.1 - Análise do experimento de Fábio J.K.

Nesta seção será feita uma análise do motivo do êxito do experimento realizado por Kaihami [3] em seu trabalho de formatura, que consistiu em utilizar um marcador de paintball para liberar uma onda de ar comprimido sobre uma folha de papel de impressão Braille, a qual se encontrava apoiada sobre um pino fixo de diâmetro de aproximadamente 1 mm.

Para isto, inicialmente foi feita uma pesquisa sobre marcadores de paintball, e após a visita a uma empresa especializada na comercialização de equipamentos para a prática de paintball, foram obtidos os seguintes dados a respeito dos marcadores:

- A pressão do gás utilizada nos marcadores varia de 200 PSI a 500PSI;
- O gás utilizado pode ser tanto o CO_2, como o ar comprimido;
- O calibre de um marcador pode variar de 0,5 polegadas a 0,72 polegadas;

A partir destes dados, foi elaborada uma simulação por elementos finitos, utilizando o software Abaqus®, para determinar a tensão na folha de papel que resulte em uma deformação permanente.

Para a simulação, foram utilizados os dados de maneira a se simular o caso mais crítico, para que assim se possa assegurar que para qualquer outro caso o experimento obtenha êxito. Para o experimento, o caso mais crítico é o caso em que o diâmetro do bocal do marcador seja de 0,5 polegadas ou 12,7mm, e a pressão utilizada na arma seja de 200 PSI, ou 1,38 MPa.

Uma vez que o não é possível realizar no software uma simulação com dois corpos em contato, sendo que um deles se deforma, o que altera os pontos de contato entre os objetos, foi proposta uma simplificação do problema utilizando uma relação entre forças e áreas, que consiste em obter a pressão que o pino fixo exerce sobre a folha, quando uma pressão de 1,38MPa é aplicada sobre a outra face. Para isto, tem-se:

$$P_{marcador} = \frac{F}{A_{bocal}}$$

$$F = P_{marcador} * A_{bocal}$$

$$P_{pino} = \frac{P_{marcador} * A_{bocal}}{A_{pino}}$$

Mas como $A_{bocal} = \pi\ r_{bocal}^2$ e $A_{pino} = \pi\ r_{pino}^2$, tem-se:

$$P_{pino} = \frac{1{,}38 * 10^6 * \pi\ r_{bocal}^2}{\pi\ r_{pino}^2}$$

$$P_{pino} = 22{,}4MPa$$

Para a análise, por elementos finitos, da folha de papel recebendo pressão na face superior, foi utilizado o software Abaqus® versão 6.8. Nesta parte será apresentado o passo-a-passo de como foram feitas a construção e simulação da folha de papel neste software, seguida dos resultados obtidos na análise.

Primeiramente no módulo “part” foi criado um sólido por meio do comando “create part”, escolhendo-se a opção de extrusão e formato sólido, entrando assim no “sketch”, ferramenta que permite criar a seção que posteriormente será extrudada. Nele, foi selecionada a opção “create lines: rectangle (4 lines)” e entrando-se com o ponto (-10;-10) como canto inicial, e o ponto (10;10) como canto final para a criação do retângulo, de maneira que a origem do sistema de coordenadas fique no centro do retângulo. Terminado o “sketch”, é aberta uma caixa para a execução da extrusão, na qual foi colocada a espessura de 0,155mm, espessura encontrada por Fábio J.K. para uma folha de papel de impressão Braille. A escolha por um sólido de dimensões 20 x 20 x 0.155 mm foi feita com o intuito de se analisar não só o comportamento da região onde será aplicada a pressão, mas como também o comportamento de sua vizinhança, para servir como base para a análise da viabilidade de conformar diversos pontos dispostos em uma cela Braille.

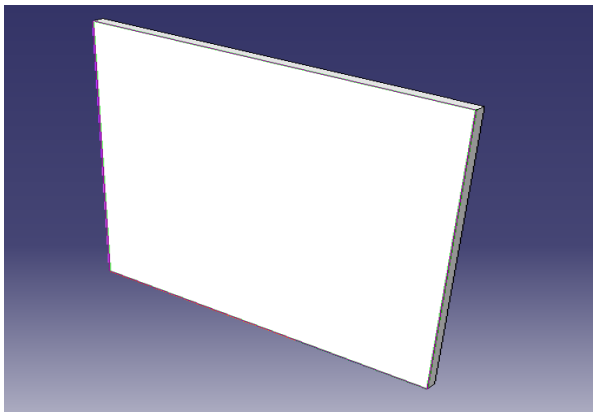


Figura 5- Sólido criado por extrusão de um retângulo.

Após a criação do sólido, foi feita a definição do material, que no caso estudado é o papel de impressão Braille. Selecionando “Materials” no Abaqus®, é aberta uma caixa de diálogo, em que na parte de comportamento do material foi selecionado um material mecânico e de comportamento elástico. Em seguida é inserido o módulo de elasticidade do papel 2600MPa, e também o coeficiente de Poisson 0,14. Novamente na parte de comportamento do material, foi introduzido no comportamento geral a densidade do papel estudado 40.27kg/m^3.

Feita a definição do material, no módulo “Property” foi criada uma seção sólida e homogênea, e em seguida selecionado o papel criado anteriormente como material. Criada a seção, foi feita a atribuição desta seção ao sólido extrudado, “assign section”, para que assim este sólido apresente comportamento semelhante ao do papel.

Em seguida, no módulo “Assembly” foi utilizado o comando “instance part” e selecionado o item “independent”, para que assim a malha, que será construída futuramente, seja feita sobre a instância criada.

No módulo “Step”, foi criado um “step” selecionando um tipo de procedimento estático e geral. Este “step” foi criado para que mais adiante seja possível efetuar tanto carregamentos como condições de fronteira, que serão aplicados sobre o sólido que será analisado.

No módulo “Load”, foi utilizado o comando “Partition face: sketch” e selecionadas uma das faces de dimensão 20x20 mm e em seguida uma aresta qualquer do quadrilátero, para assim entrar no menu do “sketch”. Em seguida foi selecionado o comando “create circle: center and perimeter” que cria um círculo através da determinação de seu centro e um ponto de seu perímetro. Foi escolhido como centro da circunferência o ponto (0;0), e como ponto pertencente ao perímetro, o ponto (0,6.35), sendo assim criada a circunferência que representa o diâmetro do bocal. Em seguida, entrou-se com o ponto (0;0) como centro da circunferência, e o ponto (0;0.5) como ponto pertencente ao perímetro, sendo criada a circunferência que representa o diâmetro do pino fixo. Feito isto, foi selecionada a opção “Done” para sair do “sketch”, e em seguida, no mesmo comando “Partition face: sketch” foi selecionada a outra face do sólido e criadas as duas circunferências referentes ao bocal e ao pino. Este comando foi utilizado para se fazer uma partição com o formato e as dimensões do bocal e do pino nas faces do sólido criado, para que assim seja possível a aplicação da pressão somente na região delimitada pela atuação da pressão que o pino exerce sobre a folha e a região que o bocal exerce sobre a folha. A figura 6 ilustra o objeto estudado durante a utilização do comando “create circle: center and perimeter” e uma das faces do sólido.

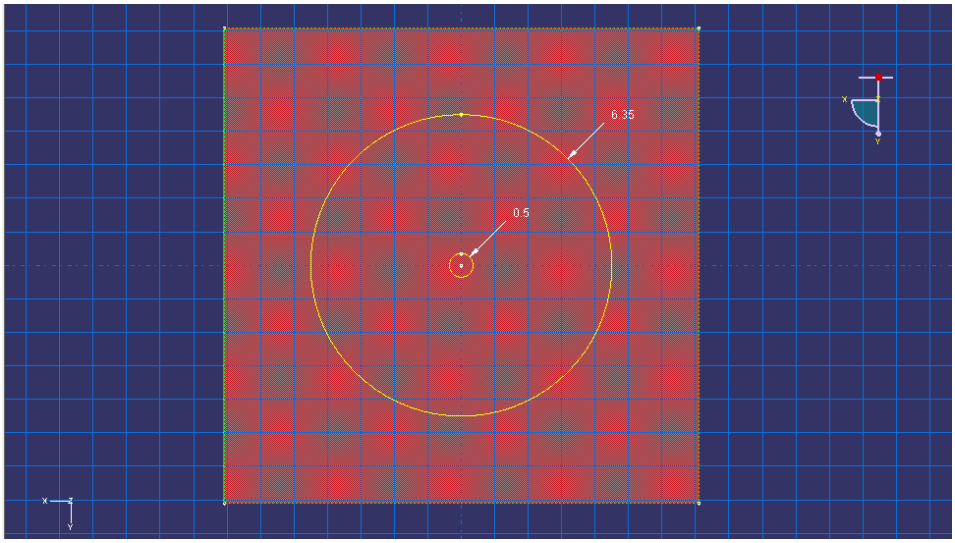


Figura 6 - Circunferências criadas no "partition face: sketch"

Separadas as regiões, foi utilizado o comando “Create load” para se criar um carregamento. Na caixa de diálogo aberta pelo comando, no “step” foi selecionado o “step” criado anteriormente, na categoria foi escolhida a opção mecânica, e no tipo de carga para o “step” selecionado, foi escolhido o ícone de pressão. Em seguida foi selecionada a região interna à circunferência em uma das faces, que representa a área de atuação da força do pino, para a aplicação da pressão, e na magnitude foi colocada a pressão de 222,4 MPa, que representa a pressão que o pino atua sobre o papel para um diâmetro de bocal igual a 12,7 mm. Utilizando ainda o comando “Create load” foi criado um outro carregamento, porém agora na face oposta à que foi criado o primeiro carregamento, e selecionada a região compreendida entre o diâmetro do pino e o diâmetro do bocal foi aplicada uma pressão de magnitude igual a 200 PSI ou 1,38MPa. Um fator que deve ser levado em consideração é o fato de a unidade da pressão no campo da magnitude estar expressa em Pa. Na figura 7 está representada esta última passagem referente à aplicação da pressão na região compreendida entre as duas circunferências.

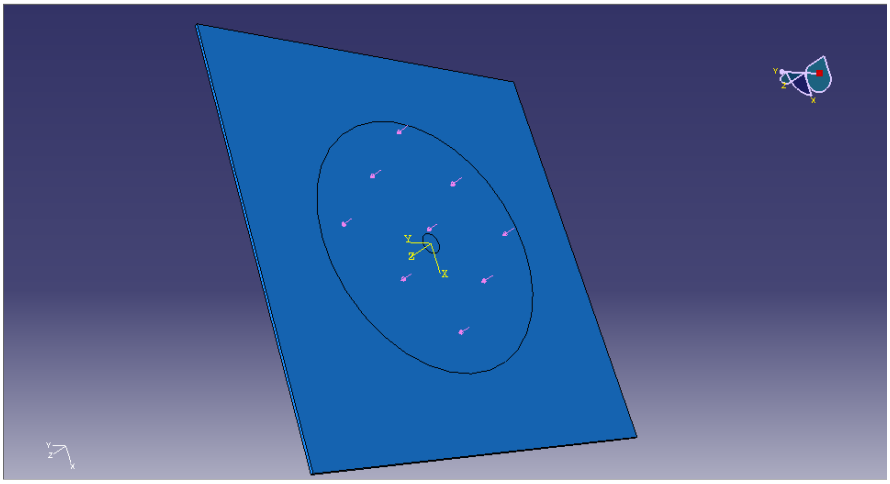


Figura 7 - Pressão aplicada na região compreendida entre as duas circunferências.

Este segundo carregamento representado na figura 7 representa a pressão que o ar comprimido aplica na região englobada pelo bocal na folha de papel.

Após os carregamentos, foram selecionadas as condições de fronteira pelo comando “boundary condition”. Na caixa de diálogo aberta pelo comando, foi selecionado novamente o “step” criado, na categoria, escolhida a opção mecânica e no tipo de carga para o “step” selecionado, foi escolhida a opção “symmetry/antisymmetry/encastre”. Em seguida foram selecionadas as faces: superior e inferior em torno do círculo que representa o diâmetro do bocal, e as laterais, mantendo-se a tecla “shift” pressionada. Na caixa de diálogo aberta após a seleção das faces, foi escolhida a função “encastre” ou engastada. Após este passo o sólido deve ter um aspecto parecido com o apresentado na figura 8.

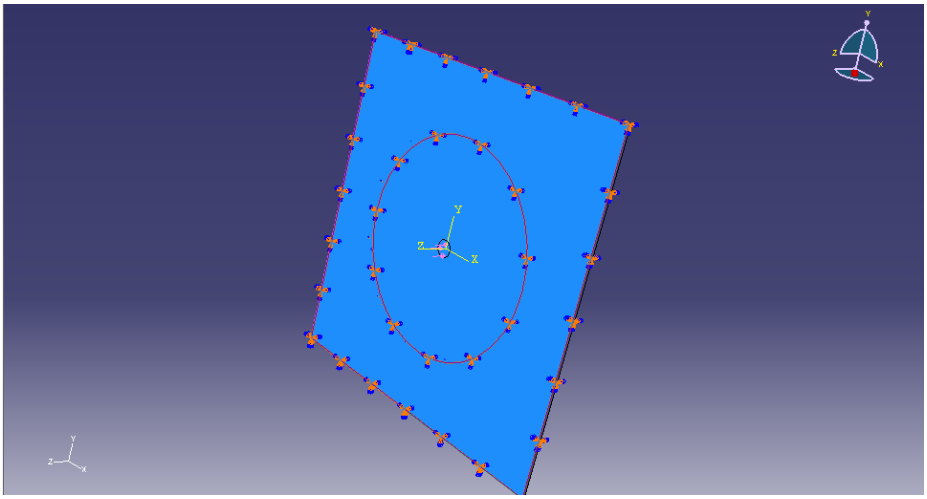


Figura 8- Sólido com carregamentos e condições de fronteira.

O próximo passo é a criação da malha de pontos, para a futura análise de elementos. Mudando para o módulo “Mesh”, no menu superior selecionar a opção “seed” e em seguida “Edge by size”, para que seja possível escolher as faces em que se deseja criar a malha. Em seguida foi selecionado o comando “Seed edge: by size”, e selecionadas as faces: laterais, inferior e a superior externa à circunferência que representa o bocal. Na caixa “element size along the edges” foi selecionado o valor 0.8. Novamente, utilizando-se o comando “Seed edge: by size”, foi selecionada a face interior à circunferência que representa o bocal e escolhido um valor de 0.1 na caixa “element size along the edges”.

Isto é feito para que seja possível criar uma malha com menos pontos nas regiões periféricas, e uma malha mais detalhada e com mais pontos na região de maior solicitação, que no caso estudado é a região interna à circunferência representativa do bocal, que determina a área de atuação de pressão, para assim se reduzir os cálculos efetuados pelo computador e, conseqüentemente, reduzir o tempo de análise requerido.

Ainda no módulo “Mesh”, foi utilizado o comando “assign mesh controls” e escolhida a opção Tet na parte “element shape”, pois como o modelo foi dividido em duas partes, o gerador de malha do Abaqus® não consegue mais gerar a malha deste modelo em hexaedros, por isso a opção por gerar a malha em tetraedros. Definido isto, foi utilizado o comando “mesh part instance” para se gerar a malha de tetraedros. Após este passo o sólido deve estar de acordo com o mostrado na figura 9.

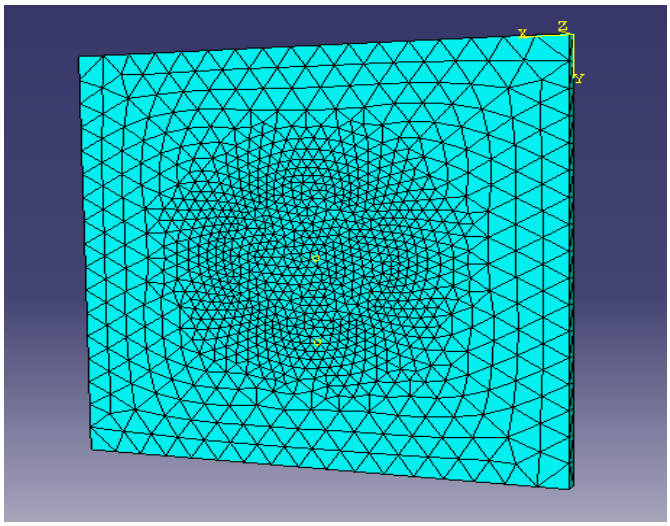


Figura 9 - Malha criada pelo comando “mesh part instance”.

Criada a malha de tetraedros, no módulo “job”, foi criado um “job”, que é responsável pela execução do “step” criado anteriormente. Na parte da descrição do “job”, foi escolhido o nome ‘análise papel’. Após a criação do “job”, a peça já está pronta para ser analisada. No menu da esquerda, foi expandida a raiz “job” e selecionando o item análise papel com o botão direito do mouse, selecionando o comando “submit”, que faz a análise das condições impostas e verifica a existência de problemas efetuados ao longo da construção do sólido.

Caso não haja nenhum problema, ao lado do item análise papel aparecerá a palavra “complete” entre parentes, que significa que a análise foi efetuada com sucesso. Para conferir os resultados da análise, foi selecionado o item análise papel com o botão direito do mouse, e escolhida a opção “results”.

Para observar as tensões obtidas, foi selecionado o comando “plot contours on deformed shape”, que mostra o corpo deformado e uma escala de cores indicando os locais de maior solicitação.

3.2.2. - Resultado das simulações

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através das simulações executadas para a análise do experimento realizado por Kaihami e para a determinação do menor diâmetro do bocal capaz de conseguir uma conformação plástica no papel.

3.2.2.1 - Análise do experimento realizado por Kaihami

Como resultados da análise desse experimento, para uma simulação em que foram simulados um bocal de diâmetro 12,7 mm, um pino de diâmetro 1mm, a pressão exercida pelo marcador de 200 PSI, e a pressão calculada do pino de 222,4MPa, as tensões obtidas na folha de papel foram:

$$\sigma_{VMmáx} = 3{,}8 * 10^{9}\, Pa$$

$$\sigma_{VMmín} = 7{,}2 * 10^{8}\, Pa$$

A figura 10 ilustra o espectro de tensões na folha de papel obtido na análise deste caso.

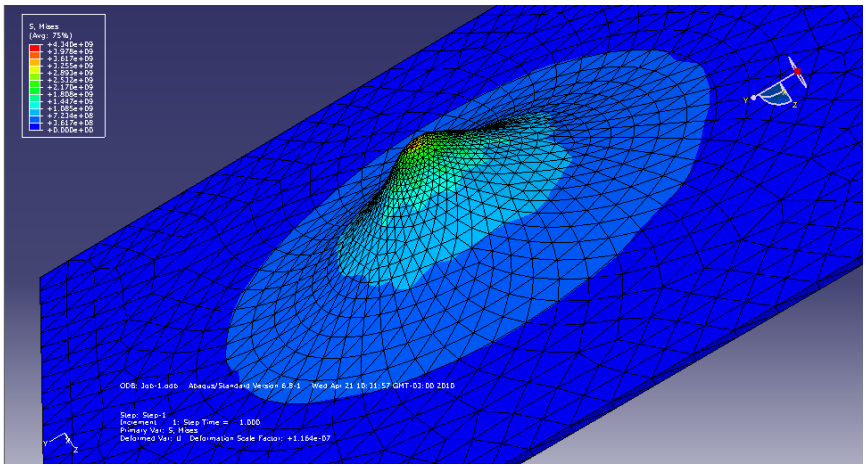


Figura 10 - Resultado obtido na análise do experimento de Kaihami [3].

3.2.2.2 - Determinação do diâmetro do bocal

Ainda utilizando o software Abaqus®, foram realizadas simulações bastante semelhantes às executadas no item anterior para a análise do experimento de Kaihami [3] em que, através das relações de áreas do bocal e do pino e de seus respectivos diâmetros, mais a pressão que um marcador de paintball é capaz de fornecer, foram obtidas as tensões no papel. Nesta seção, porém, para a determinação do diâmetro do bocal, foram mantidos a pressão de 200 PSI, provinda do marcador de paintball, e o diâmetro do pino de 1,0mm, e foi-se variando o valor do diâmetro do bocal, a fim de determinar o menor diâmetro do bocal capaz de conformar plasticamente o papel de impressão Braille. Com o diâmetro de 1,0mm atribuído ao pino, espera-se alcançar as dimensões impostas pela norma NBR9050 no papel, já que se soma a esse valor a espessura do papel de 0,155mm e o valor da deformação elástica do ponto quando a pressão do ar deixar exercer força sobre o papel.

Para esta determinação, inicialmente foram selecionados diferentes diâmetros para o bocal. Em seguida foi calculada a pressão que o pino exerce sobre a folha, pelo diâmetro do bocal escolhido, do pino e da pressão do marcador através da expressão:

$$P_{pino} = \frac{P_{marcador} * \pi \ r_{bocal}^2}{\pi \ r_{pino}^2}$$

Chegando assim aos valores apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Valores dos diâmetros do bocal e pressão do pino ensaiado

Diâmetro do bocal (mm)	Diâmetro do pino (mm)	Pressão do marcador (Mpa)	Pressão do pino (Pa)
8,0	1,0	1,38	88,2
5,0	1,0	1,38	34,5
3,4	1,0	1,38	15,9

Já a opção pela simulação com um diâmetro do bocal de 3,4 mm, foi dada pelo fato de esta ser a distância padrão entre dois pinos de uma cela Braille.

Os resultados obtidos por meio das simulações para determinação do diâmetro do bocal, nas quais o diâmetro do pino foi mantido fixo e valores decrescentes para o diâmetro do bocal foram escolhidos, estão apresentados a seguir:

3.2.2.3 - Caso diâmetro do bocal =8,0mm

O espectro de tensões obtido a partir desta simulação para o caso em que o diâmetro do bocal utilizado foi de 8,0 mm, o diâmetro do pino de 1,0 mm, a pressão aplicada pelo pino, de 88,2MPa e a pressão aplicada pelo bocal, de 1,38MPa, está apresentado na figura 11, em que a região de coloração vermelha é a região com maior concentração de tensão e a azul, a de menor concentração de tensão.

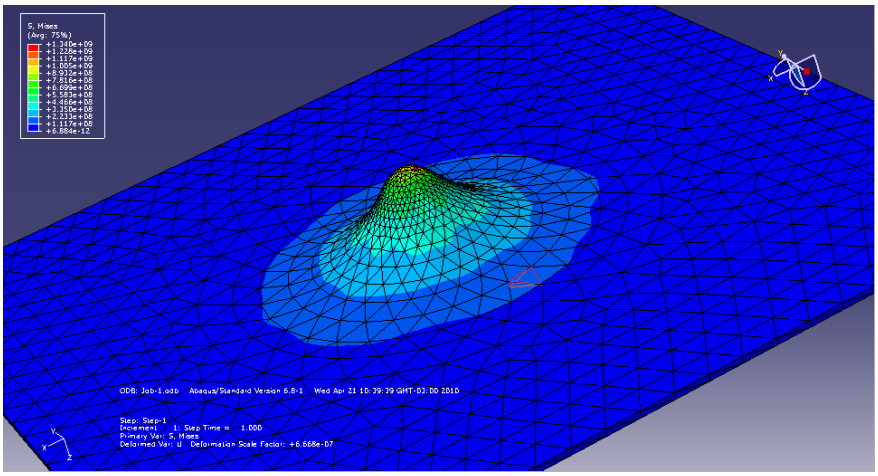


Figura 11 - Espectro de tensões para a simulação com um bocal de diâmetro 8,0 mm.

Para esta simulação as tensões na folha de papel obtidas foram:

$$\sigma_{VMmáx} = 1{,}0 * 10^{9}\, Pa$$

$$\sigma_{VMmín} = 2{,}2 * 10^{8}\, Pa$$

3.2.2.4 - Caso diâmetro do bocal =5,0mm

O espectro de tensões obtido a partir desta simulação, para o caso em que o diâmetro do bocal utilizado foi de 5,0 mm, o diâmetro do pino de 1,0 mm, a pressão aplicada pelo pino, de 34,5MPa e a pressão aplicada pelo bocal, de 1,38MPa, está apresentado na figura 12, em que a região de coloração vermelha é a região com maior concentração de tensão e a azul, a de menor concentração de tensão.

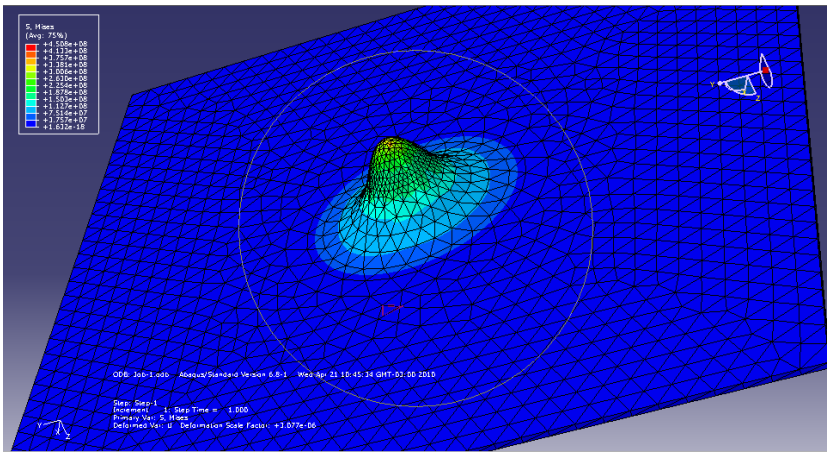


Figura 12 – Espectro de tensões para a simulação com um bocal de diâmetro 5,0 mm.

Para esta simulação as tensões na folha de papel obtidas foram:

$$\sigma_{VMmáx} = 3{,}8 * 10^{9}\, Pa$$

$$\sigma_{VMmín} = 1{,}1 * 10^{8}\, Pa$$

3.2.2.5 - Caso diâmetro do bocal =3,4mm

Para este caso em que o diâmetro do bocal é de 3,4 mm, que representa a maior distância entre dois pinos de uma cela Braille, o espectro de tensões obtido a partir da simulação, com o diâmetro do pino igual a 1,0 mm, a pressão aplicada pelo pino, de 15,9MPa e a pressão aplicada pelo bocal, de 1,38MPa, está representado na figura 13 em que a região de coloração vermelha é a região com maior concentração de tensão e a azul, a de menor concentração de tensão.

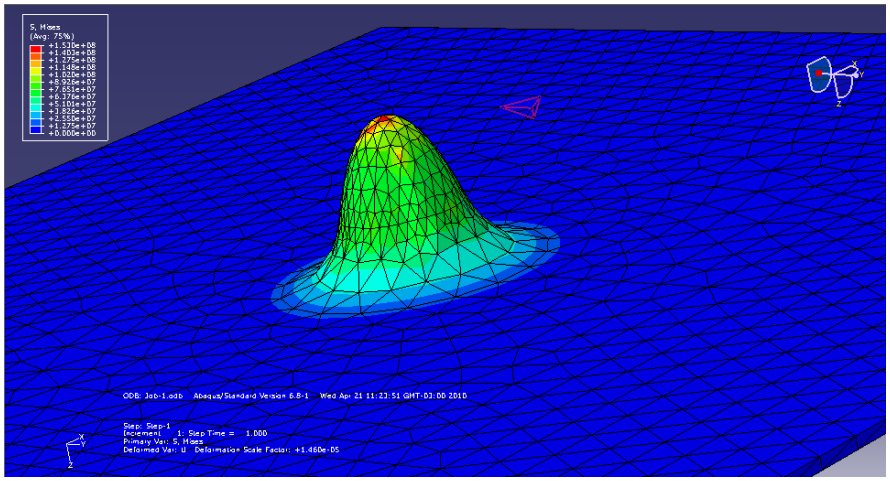


Figura 13– Espectro de tensões para a simulação com um bocal de diâmetro 3,4 mm.

Para esta simulação as tensões na folha de papel obtidas foram:

$$\sigma_{VMmáx} = 1{,}5 * 10^8 \, Pa$$

$$\sigma_{VMmín} = 2{,}5 * 10^7 \, Pa$$

3.2.3. - Discussão dos resultados da análise por elementos finitos

Analisando todos os procedimentos realizados, assim como os resultados obtidos para as simulações de um experimento que consiste em aplicar uma onda de pressão sobre uma folha de papel apoiada sobre um pino fixo, pôde-se notar que as tensões, na folha de papel, obtidas são suficientemente elevadas para conseguir uma deformação plástica no papel de impressão Braille.

As simplificações executadas, a fim de facilitar a construção do modelo a ser simulado, foram feitas de forma a se conseguir uma máxima aproximação do modelo real e, assim, obter resultados o mais próximo dos reais possível. Tais simplificações, porém, certamente farão com que o modelo simulado não ilustre exatamente o modelo real, o que faz com que se deva considerar que as tensões reais no papel possam ser diferentes do que as obtidas pela simulação virtual.

Outros fatores que devem ser considerados para esta diferença na tensão real no papel, são o vazamento de ar comprimido no contato entre o bocal e a folha de papel, o que gera uma perda na pressão final que conforma o papel, o fato de o papel ser um material constituído por fibras orientadas, o que altera o seu comportamento frente às deformações e o fato de as propriedades do papel utilizadas na simulação serem propriedades obtidas experimentalmente, o que gera algumas incertezas.

Fazendo-se uma análise dos resultados obtidos para a simulação do experimento executado por Kaihami, pode-se notar que as tensões na folha de papel obtidas foram extremamente elevadas, ou seja, foram muito superiores à tensão de escoamento do papel, o que faz com que o papel, no caso real, seja conformado, ou até rasgado, mesmo quando consideradas as incertezas descritas anteriormente. Isto pode ser afirmado pelo fato de as tensões obtidas pela simulação no software Abaqus® apresentarem uma ordem de grandeza duas vezes maior do que a da tensão de escoamento do papel.

Para os resultados obtidos nas simulações para a determinação do diâmetro do bocal não é possível afirmar que o papel será conformado nos três casos. Para os casos em que os diâmetros do bocal foram de 8,0mm e 5,0mm as tensões obtidas no papel são da mesma ordem de grandeza das

obtidas no experimento de Fábio J.K., o que pode significar o possível rasgamento do papel no caso real.

A simulação feita com bocal de diâmetro de 3,4mm pode ser considerada como o caso limite para a conformação do papel, uma vez que, as tensões obtidas no papel forma próximas a de escoamento do papel. No contorno do pino, as tensões obtidas foram inferiores a de escoamento, o que pode ser atribuído às incertezas na escolha dos valores dos parâmetros utilizados nas simulações.

Após a análise das simulações e das possíveis alterações a serem feitas tanto no pino quanto no mecanismo de liberação do ar comprimido, percebe-se a viabilidade na construção de uma impressora de ar comprimido. A impressão de uma cela Braille seguindo a norma NBR9050 é possível ao se utilizar um bocal com 3,4mm de diâmetro, que pode imprimir um ponto sem que, no processo, seu diâmetro interfira em outros pontos já impressos.

Considerando que este diâmetro é o caso limite para a conformação do papel, espera-se conseguir a conformação correta do papel utilizando os resultados obtidos na simulação com este bocal acrescidos de um fator de segurança, ou seja, com um pequeno aumento na área deste bocal.

Apesar da comprovação da viabilidade por este estudo, a viabilidade do mecanismo deverá ser comprovada por testes com um protótipo, descrito na 3.6.

3.3 - Estudo preliminar do mecanismo de liberação do ar comprimido

Para a liberação de ar comprimido será utilizado como base o mecanismo de disparo de uma arma de paintball semi-automática. Tais armas operam com pressões que podem variar de 200psi a 400psi e podem disparar de 8 a 20 bolas por segundo, no caso dos marcadores semi-automáticos, ou seja, possuem a pressão de ar necessária para conformar o papel e velocidade de disparo, certas vezes maiores que a velocidade dos mecanismos de impressoras Braille existentes no mercado.

Como mecanismo base será utilizado o de uma arma *Spyder Victor 2009* cujo esquema e lista completa de componentes podem ser vistos nos anexos A e B. Uma lista com os principais componentes do marcador é mostrada a seguir:

- Corpo do marcador – o qual abriga os principais componentes, constituindo o reservatório de ar, o cano do marcador e a câmara de colisão. Nele são acoplados o conjunto do gatilho, o cano de disparo e a entrada do ar comprimido.

- Corpo da válvula – que direciona o ar comprimido do reservatório de ar para o cano do marcador e para a câmara de colisão.

- Retentor – é responsável por vedar uma das aberturas do corpo da válvula, impedindo que o ar comprimido saia do reservatório de ar.

- Pino da válvula – Pino acoplado ao retentor que, ao receber a colisão do martelo, empurra o retentor, liberando assim o fluxo de ar comprimido para o resto do marcador.

- Mola da válvula – mola que pressiona o retentor contra o corpo da válvula para impedir que o ar comprimido vaze da câmara de ar.

- Martelo – é a peça que colide com o pino da válvula liberando o ar comprimido do reservatório de ar para o cano de disparo e a câmara de colisão.

- Mola do martelo – mola que fornece força ao martelo para se chocar contra o pino da válvula.

- Guia da mola e ajustador de velocidade – peça que serve como guia para a mola do martelo e ajuste da velocidade de disparo.

- Amortecedor do martelo – anel de plástico que serve como um amortecedor de impactos, que ajuda a proteger o martelo e o selador do martelo de possíveis danos.

- Tampo do martelo – peça responsável por selar a câmara de colisão.

- Tampo frontal – responsável por vedar o reservatório de ar.

- Conjunto do gatilho – responsável por travar e liberar o martelo para assim disparar o marcador.

3.3.1 - Funcionamento do sistema

Um marcador é dito semi-automático, quando, após carregá-lo uma vez, ao puxar o gatilho, o marcador irá disparar uma vez e recarregá-lo automaticamente, o que permite que o usuário consiga disparar com mais velocidade. Esse processo pode ser visualizado na figura 14.

Para se começar a utilizar o marcador, inicialmente, é necessário que este esteja na posição carregada. Isto é feito puxando-se o pino de recarga para trás. Ao se fazer isto, o martelo é puxado para trás, engatando-se no mecanismo do gatilho e contraindo a mola. Feito isso, o marcador está carregado e pronto para disparar. Nesta posição, o reservatório de ar está cheio de ar comprimido, sendo ele selado do resto do marcador pelo conjunto do retentor e pino da válvula. Esta selagem é dada por meio da ação da mola da válvula que pressiona o conjunto contra o corpo da válvula.

Ao se pressionar o gatilho, este libera o martelo, fazendo com que a mola do martelo empurre o mesmo para frente. Com isso, ele colide com o pino da válvula, o que faz com que seja liberada a passagem de ar comprimido para impulsionar a bola de paintball.

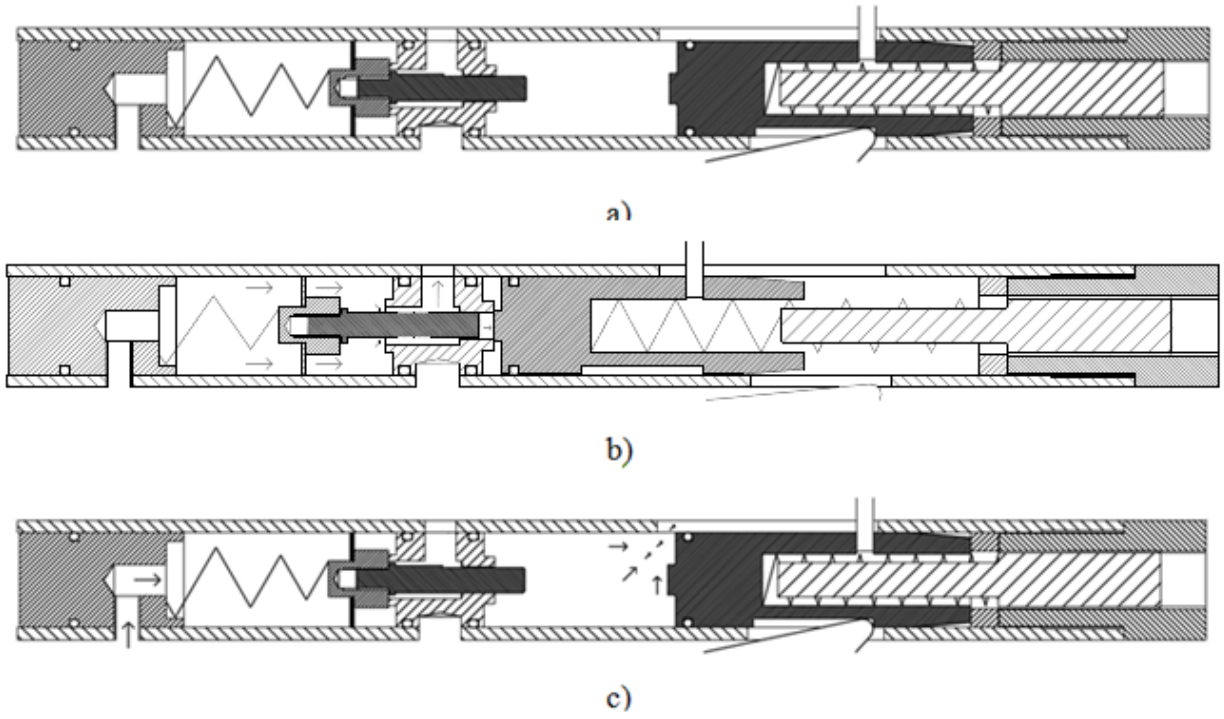


Figura 14 - Funcionamento do mecanismo de liberação de ar comprimido: a)- mecanismo travado em sua posição inicial; b)-Configuração do mecanismo após a liberação do martelo; c)-Mecanismo recarregado. As setas indicam o deslocamento do ar.

Parte do ar liberado é desviada, pela válvula, para a câmara de colisão e empurra o martelo para trás fazendo com que o marcador volte para a posição carregada. Neste momento, a mola da válvula empurra o conjunto do retentor e pino da válvula contra o corpo da válvula fazendo com que o reservatório de ar comprimido volte a ficar selado, interrompendo o fluxo de ar comprimido pelo marcador.

O ar que entrou na câmara de colisão durante o processo de recarga do marcador, no momento do próximo disparo, fica livre para escoar para o cano de disparo através do corpo da válvula, uma vez que a única extremidade do corpo da válvula que fica selada é a do reservatório de ar. Um ponto importante a se ressaltar, é que todo o processo, desde o acionamento do gatilho, até o marcador retornar à posição inicial, ou recarregada, ocorre em menos de um segundo.

A figura 15 mostra a localização do reservatório de ar, do corpo da válvula e da câmara de colisão em um marcador de paintball da marca *Spyder* modelo Victor 2009.

Figura 15 - Localização do reservatório de ar, do corpo da válvula e da câmara de colisão.

3.3.2 - Mecanismo do gatilho

O conjunto do gatilho é utilizado para fornecer ao usuário o controle de quando o marcador realizará o disparo, pela liberação do martelo. Quando o marcador não está na posição carregada, as partes do conjunto do gatilho ficam dispostas de acordo com a figura 16.

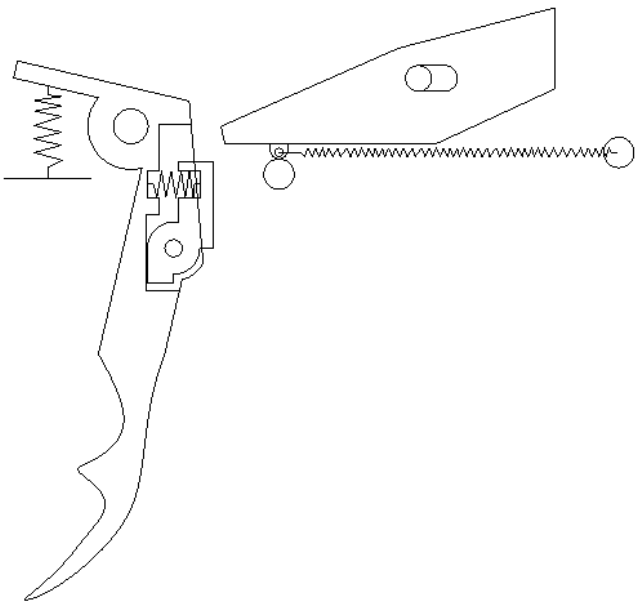


Figura 16 – Disposição das peças do gatilho para o marcador na posição não carregada

Nesta figura, é possível perceber que a mola do gatilho o força a ficar na posição não pressionada, quando nenhuma outra força atua sobre ele. A mola que atua na trava, força a trava para a direita, fazendo com que o pino, ao se puxar o gatilho, não encoste na trava, impedindo que o marcador seja disparado.

Ao se colocar o marcador em sua posição carregada, o martelo engata no mecanismo do gatilho, fazendo com que a trava fique presa ao gatilho conforme visto na figura 17.

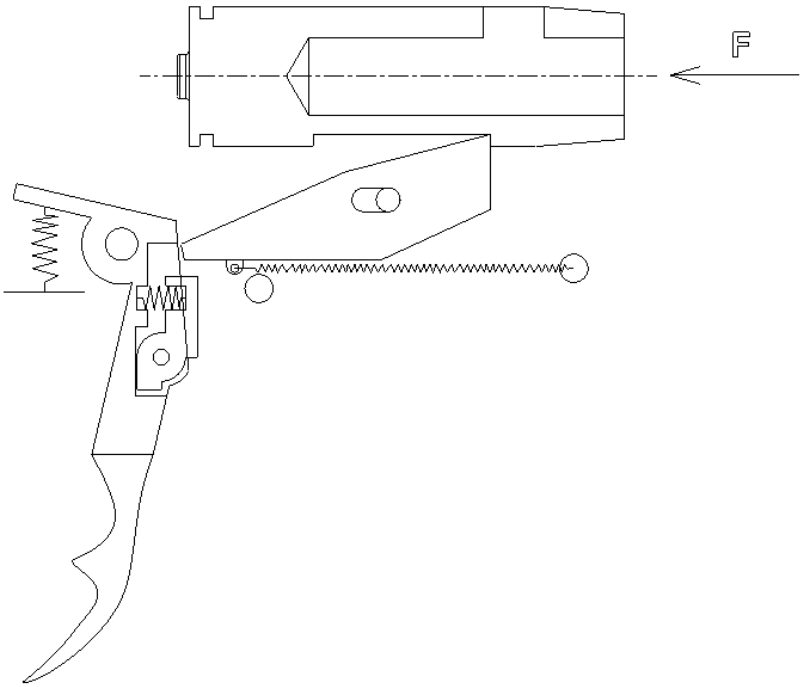


Figura 17– Disposição do conjunto do gatilho na posição carregada.

Quando o gatilho é puxado, a trava gira ao redor do pino liberando o martelo, que impulsionado pela mola, dispara o marcador. Esta etapa do processo pode ser verificada na figura 18.

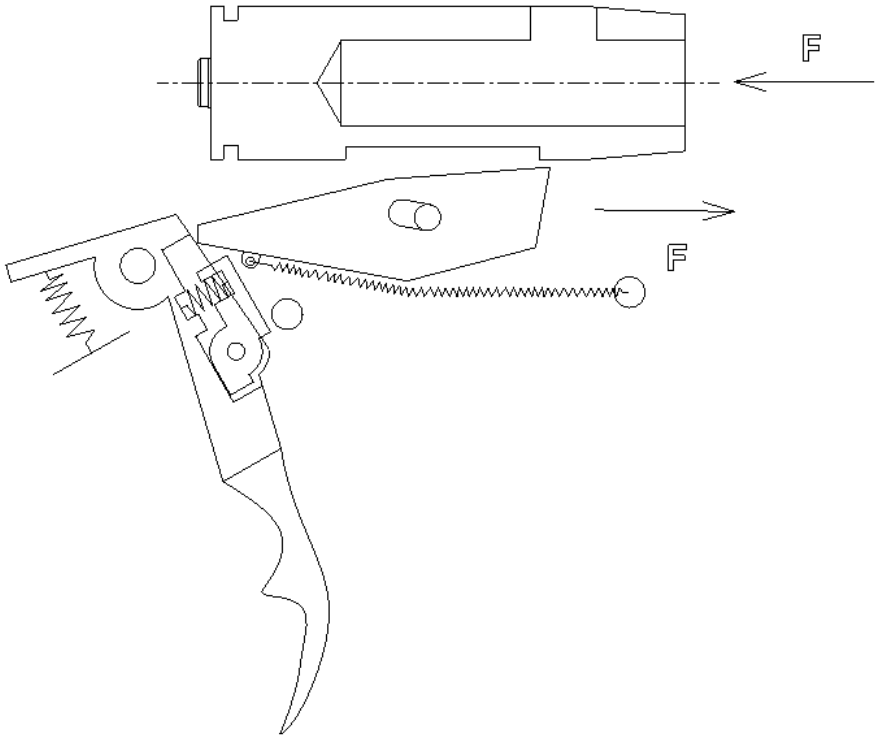


Figura 18– Posição do conjunto ao se puxar o gatilho.

Uma vez puxado o gatilho, este retorna para a posição inicial mostrada na figura 13, até que o marcador se recarregue automaticamente.

3.3.3 - Dimensionamento do bocal

Para o funcionamento adequado do pino, o bocal deve possuir espessura suficiente para suportar as tensões geradas pelo uso de ar comprimido. O bocal também deve suportar o impacto proveniente de seu movimento vertical para o posicionamento sobre o pino, porém, como este movimento depende do dimensionamento de partes do mecanismo de disparo, bem como da borracha de vedação a ser colocada entre o papel e o bocal, as cargas geradas serão consideradas como um acréscimo na pressão interna do ar comprimido. Pelo mesmo motivo, a fadiga relacionada a esse movimento não será estudada.

Levando em conta esses fatores e os resultados obtidos nas simulações por elementos finitos, o bocal será dimensionado para uma pressão interna de 300psi. Portanto, pela teoria de vaso de pressão de parede espessa, temos:

Tensão limite de escoamento - σ_{esc} = 210Mpa

Raio interno - a = 5,0mm

Pressão interna - Pi = 300psi = 2070kPa

Pressão externa - Po = 1atm = 100kPa

$$\sigma_{esc} = \frac{\left(\gamma^2 + 1\right)}{\left(\gamma^2 - 1\right)} P_i - 2\frac{\gamma^2}{\left(\gamma^2 - 1\right)} P_o$$

$$210000 = \frac{\left(\gamma^2 + 1\right)}{\left(\gamma^2 - 1\right)} 2070 - 2\frac{\gamma^2}{\left(\gamma^2 - 1\right)} 100$$

$$\gamma = 1{,}01$$

Portanto,

$$b = \gamma \cdot a = 1{,}01 \cdot 5{,}0 = 5{,}05mm$$

Pelo método a cima a espessura do bocal (b-a) que suporta a pressão do ar comprimido é de 0,05mm.

3.3.4 - Estudo do pino

Em impressoras Braille com pino movido por solenóide, os pinos são dispostos em uma matriz com fileiras de até 10 pinos cada, somando um total de 90 pinos. O papel se move sobre essa matriz enquanto os pinos são acionados imprimindo até 90 caracteres por segundo.

Um outro tipo de impressor Braille, responsável pela impressão de livros e outros matérias que precisam de um grande número de cópias, imprime o texto em uma placa de metal. Esta placa é posteriormente prensada junto ao papel conformando os pinos referentes ao texto.

Tendo em vista esses dois tipos de impressora, a impressora Braille por ar comprimido utilizará uma placa de metal com pinos pré-moldados, dispostos em uma matriz semelhantes a da impressora por solenóides, que funcionarão como os pinos fixos.

O pino fixo deve conformar o papel segundo a norma NBR 9050, para tal, deve apresentar as dimensões mostradas na figura 16. O problema apresentado neste tipo de processo é a presença de ar entre a base o pino e a folha de papel. Este ar, conforme o papel deforma sobre o pino, tem seu volume diminuído, com isso, sua pressão aumenta. Assim que esta pressão atinge um valor igual ao da pressão de ar no bocal, o papel para de se deformar ao redor do pino, podendo fazer com que as dimensões exigidas pela norma não sejam alcançadas. Tendo em vista esse problema, duas soluções serão apresentadas e analisadas:

1- Pequenos furos são adicionados na base ao redor do pino para possibilitar o escoamento do ar;

2- Tornar o pino uma peça independente da base. Neste caso, um furo com diâmetro ligeiramente superior ao do pino seria feito na base e o pino seria encaixado nesse furo. O ar, então, seria capaz de escoar pelo vão entre o pino e a base. Esta solução reduz o custo de manutenção caso uma das peças seja danificada e ainda elimina a concentração de tensões causadas pelos furos na base do pino que existem na primeira solução proposta;

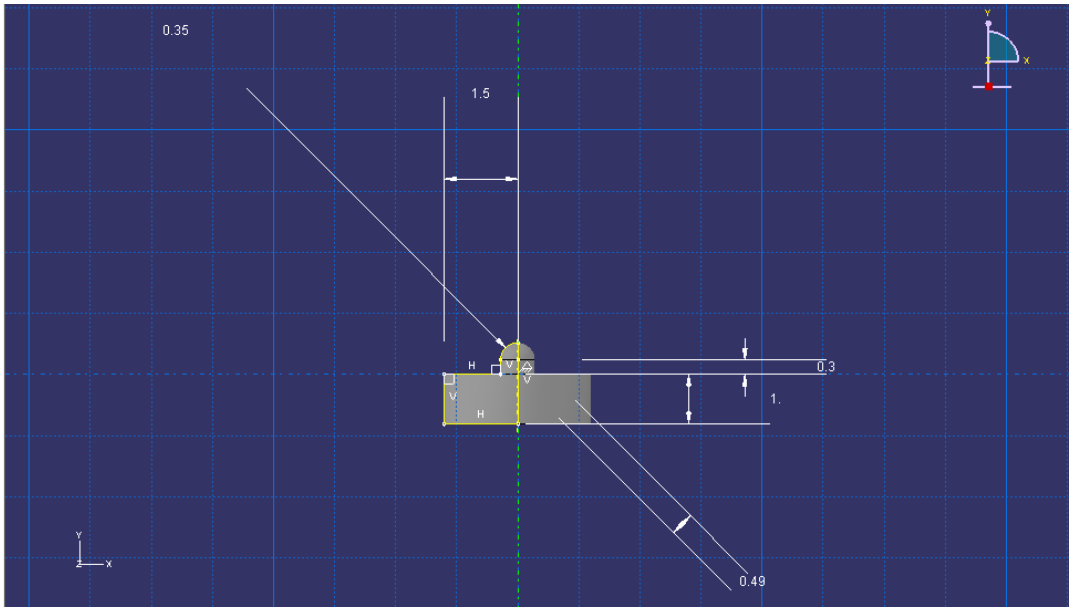


Figura 19– Dimensões do pino.

3.3.5 - Estudo do sistema de deslocamento vertical

Para se realizar o movimento de descida e subida do marcador de paintball com a finalidade de se conformar o papel de leitura Braille, será utilizado, como atuador, um cilindro pneumático, o qual será posicionado ao centro de uma guia linear.

A escolha de um cilindro pneumático como atuador foi dada pelo fato de o deslocamento do marcador não necessitar grande precisão em seu deslocamento vertical, o cilindro ser um mecanismo de rápida ação, baixo custo, e utilizar ar comprimido como fluido de trabalho. Como o marcador de paintball já utiliza um sistema de ar comprimido e necessitará de um compressor e um vaso de pressão para o armazenamento do ar comprimido, a utilização de um cilindro pneumático para movimentar o marcador na vertical, torna-se uma vantagem, pois poderá se utilizar o mesmo compressor, para acionar o mecanismo de conformação do papel e para acionar o mecanismo de deslocamento vertical.

O tipo de cilindro a ser utilizado será o cilindro de dupla ação, que são cilindros que utilizam a ação do ar comprimido nos dois sentidos de movimento, o de avanço e o de retorno. Uma vez que a pressão do ar comprimido atua nos dois lados do êmbolo, quando a pressão atua no lado da haste a força resultante é menor, pois a área de atuação é menor devido a área da haste do cilindro. A opção pelo cilindro de dupla ação foi dada pelo fato de, com ele, se conseguir um rápido deslocamento tanto na subida quanto na descida do marcador de paintball, o que otimiza o processo de impressão Braille, conseguindo um maior número de pinos conformados para um mesmo período de tempo.

Será acoplado ao cilindro um mecanismo que o conectará ao gatilho do marcador, de forma que quando o cilindro chegar ao seu fim de curso, este mecanismo aciona o gatilho, fazendo o marcador disparar. Desta forma, tem-se a garantia de que o mecanismo somente atuará quando o bocal estiver localizado sobre o pino.

Será utilizada uma guia linear, em que o sistema de conformação do papel será acoplando no corpo desta guia, que o guiará em seu deslocamento vertical. Nela também será acoplado o cilindro pneumático, que será o atuador responsável movimentação vertical do corpo da guia.

Como o marcador, da marca *Spyder* e modelo Victor, pesa aproximadamente 1,5 kg, que em Newtons dá aproximadamente 15N, a força que o cilindro pneumático deverá exercer sobre o corpo da guia linear a fim de promover o deslocamento do conjunto na vertical é pequena. Isto implica que um cilindro padrão com 12 mm de diâmetro e um curso de 50 mm disponível no mercado, trabalhando com uma pressão de aproximadamente 10 bar, consegue-se, facilmente, suprir as necessidades de movimentação do mecanismo. Executando-se um cálculo da força de atuação de um cilindro com 12mm de diâmetro trabalhando a uma pressão de 10bar, chega-se a:

$$F = P * A$$

Em que F é a força em [N], P a pressão em [Pa] e A a área do cilindro em [m²].

Executando-se os cálculos com os dados citados acima, obtém-se que a força que o cilindro executará nestas condições de trabalho de aproximadamente 115N.

3.4 - Testes preliminares do protótipo

Antes da montagem do equipamento, foram realizados testes preliminares do equipamento, sem o mecanismo de deslocamento vertical, para verificar a eficácia, ou não, do mecanismo para a impressão de um pino Braille.

3.4.1 - Descrição do equipamento

O equipamento utilizado nesta primeira fase de testes foi composto por:

- Um marcador de paintball;
- Um cilindro de CO_2 de 12 oz, que corresponde a uma massa de 373,24g de CO_2;
- Pregos de aço, de diâmetros 1,1 ; 1,3 e 1,5 mm;
- Duas placas de madeira de 3 mm de espessura;

Para a construção do equipamento para esta primeira fase de testes, foi necessária a utilização de ferramentas como um martelo, uma serra para madeira, uma lima para metais, uma furadeira, uma broca de 2 mm de diâmetro e um alicate.

A construção do equipamento foi realizada da seguinte maneira, inicialmente, foram selecionados cinco pregos de cada diâmetro, totalizando 15 pregos, e utilizando um alicate, cada conjunto de cinco pregos de diâmetro semelhante foi cortado de maneira que cada prego do conjunto ficasse com altura variada. Em seguida foram pregadas três fileiras de pregos em uma das placas de madeira, sendo a primeira fileira composta por pregos de 1,1 mm de diâmetro, a segunda por pregos de 1,3 mm, e a terceira composta por pregos de 1,5 mm, todos em ordem crescente de altura. Feito isso, utilizando uma lima para metais, cada um dos 15 pregos fixados à madeira tiveram suas pontas limadas, sendo algumas com uma ponta abaulada, outros sem ponta, ou seja com a face superior fazendo um ângulo de 90° em relação à face lateral, e outros com uma ponta mais fina.

Na outra tábua de madeira, com a serra para madeira, foi feito um recorte retangular de dimensão menor que a distância mínima entre os pregos fixados à outra tábua. Em seguida foi feito um furo no centro do retângulo com a broca de 2mm.

3.4.2 - Procedimentos experimentais

Para iniciar o experimento, o recorte de madeira com um furo de 2 mm de diâmetro foi posicionado sobre um dos pregos fixados à placa (figura 20), de maneira que o prego ficasse dentro do furo do recorte. Isso foi feito para que na base do pino se tenha um local de escape do ar que fica entre a folha de papel e o pino.

Figura 20- Foto do pino de teste.

Posicionado o recorte de madeira sobre o prego, o cilindro de CO_2 foi acoplado ao marcador e este destravado, para poder se iniciar a sua utilização. Em seguida, foi posicionada a folha de papel para impressão Braille sobre a ponta do prego, e o bocal do marcador de paintball sobre a folha de papel. Posicionados todos os elementos do mecanismo, foi feito um disparo do marcador sobre a folha de papel, figura 21.

Figura 21 - Foto do disparo do marcador sobre o papel.

Este procedimento foi repetido para os demais pinos com a finalidade de se verificar a influência do diâmetro, da altura e do formato da ponta do pino durante o processo de conformação do papel.

3.4.3 - Resultados obtidos no experimento

Na tabela a seguir são mostrados os resultados obtidos no experimento.

Tabela 2 - Resultados obtidos pelo teste do protótipo.

Diâmetro do pino(mm)	Altura do pino (mm)	Tipo de ponta	Resultado da conformação
1,1	2,0	Abaulada	Rasgou o papel
		Sem ponta	Rasgou o papel
	1,0	Abaulada	Rasgou o papel
		Sem ponta	Rasgou o papel
	0,5	Abaulada	Pino conformado, porém com diâmetro inferior ao exigido pela norma
1,3	1,0	Abaulada	Rasgou o papel
		Sem ponta	Rasgou o papel
	0,5	Sem ponta	Rasgou o papel
		Abaulada	Pino conformado, porém com diâmetro inferior ao exigido pela norma
1,5	1,0	Sem ponta	Rasgou o papel
		Abaulada	Rasgou o papel
	0,5	Abaulada	Pino conformado com diâmetro exigido pela norma

Conforme os testes eram realizados, percebeu-se que os pinos sem ponta e com altura maior que 1,0mm rasgavam o papel. Por este motivo, o teste de alguns pinos com essas características não foi realizado.

Sendo o pino com 1,5mm de diâmetro e 0,5mm de altura o único que atingiu o diâmetro exigido pela norma e não rasgou o papel, um novo teste foi realizado em pinos com essas características.

Neste teste, foram analisadas as influências do formato da ponta do pino e do escape de ar entre o pino e a base. Para isso, os pregos foram encaixados em um pedaço de madeira com furos de 1,5mm (feito por pregos com este diâmetro), eliminando, assim, o escape de ar. No processo de limagem dos pregos, foram realizados testes intermediários para obter a influência do formato do pino na conformação do papel.

Como resultado deste segundo experimento, percebeu-se que o papel se conformava exatamente no formato do pino independente da existência ou não do escape de ar entre o pino e a base.

Por fim, no pino com 1,5mm de diâmetro 0,5mm de altura e ponta abaulada, foram realizados disparos com o mecanismo em alturas diferentes, ou seja, sem que o bocal encostasse no papel. Como resultado, percebeu-se que o papel se conformava igualmente com o bocal a distâncias de até 5cm do papel.

Outros fatores importantes observados durante os testes foram a formação de gelo seco sobre o papel devido a expansão do CO_2, cujo tempo máximo observado até sua sublimação completa de 5segundos, e a força de reação do gás comprimido no mecanismo, fazendo com que este saltasse, uma vez que não estava preso à base.

3.4.4 - Discussão dos resultados dos testes preliminares

Com os resultados das simulações por elementos finitos foi possível obter os parâmetros iniciais para a determinação da pressão de ar comprimido e das dimensões do pino. Porém, uma vez que o software não realiza a analise de deformação plástica necessária para o problema e como algumas hipóteses simplificadoras foram feitas, não foi possível prever para quais dimensões do pino o papel rasgaria durante os testes realizados. Esse fenômeno ocorreu quando a altura do pino era elevada, fazendo com que o papel ultrapassasse sua deformação máxima, ou quando o formato da ponta possuía cantos vivos, como no caso do pino sem ponta, fazendo com que toda a deformação do papel ficasse concentrada em apenas uma pequena região.

O fato do bocal não precisar estar encostado ao papel para conformar o pino elimina a necessidade de um mecanismo de deslocamento vertical. Desta forma, pode-se reduzir o tempo gasto em impressão, pois ar pode ser liberado sem que seja necessário esperar o posicionamento do bocal e elimina-se o possível problema de deformar pinos previamente marcados com o bocal. Pelo mesmo motivo, pode-se estudar uma redução na pressão do ar comprimido até uma pressão em que o limite de impressão do pino seja a uma distância mínima do mecanismo ao papel. Esta analise, contudo, não é possível de ser realizada pelo software de elementos finitos nem por alterações no mecanismo utilizado, uma vez que seus componentes foram dimensionados de forma torna-lo semi-

automático com a pressão de 1,38MPa. Caso essa pressão seja diminuída, o ar desviado para a câmara de colisão não será capaz de mover o martelo e recarregar o mecanismo.

3.5 - Construção do protótipo

Com o resultado positivo dos testes preliminares do protótipo, partiu-se para a etapa de construção de um primeiro protótipo, com a finalidade de produzir pontos semelhantes, eliminando as principais causas responsáveis pela geração de pontos com dimensões variáveis, como a variação da distância entre o marcador de paintball e o papel, a ausência de fixação do papel no momento do disparo, e a variação na altura do pino fixado à base do mecanismo.

Para isto, foi utilizado, como o mecanismo de liberação de ar comprimido, o marcador de paintball, sendo este fixado a uma estrutura para que se obtenha uma distância constante entre o marcador e o papel de impressão. Esta estrutura consiste de uma base retangular cuja largura é semelhante à largura da folha de papel (315 mm), isto para que o papel não apresente deslocamento lateral durante o processo de conformação sobre o pino. O suporte do marcador é composto por duas barras laterais e uma horizontal, formando um perfil em U, sendo as barras laterais fixadas à base por meio de parafusos M5-35 mm. As barras laterais possuem trilhos para permitir o deslocamento vertical do marcador, tornado possível ajustar a distância entre o marcador e a folha de papel A fixação da barra horizontal às barras verticais, é feita por meio de uma barra de seção transversal em forma de L, de alumínio.

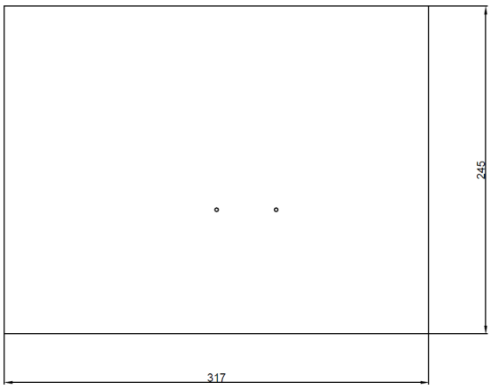


Figura 22 – Croqui da base do protótipo.

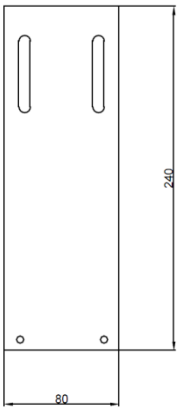


Figura 23 – Croqui da barra lateral.

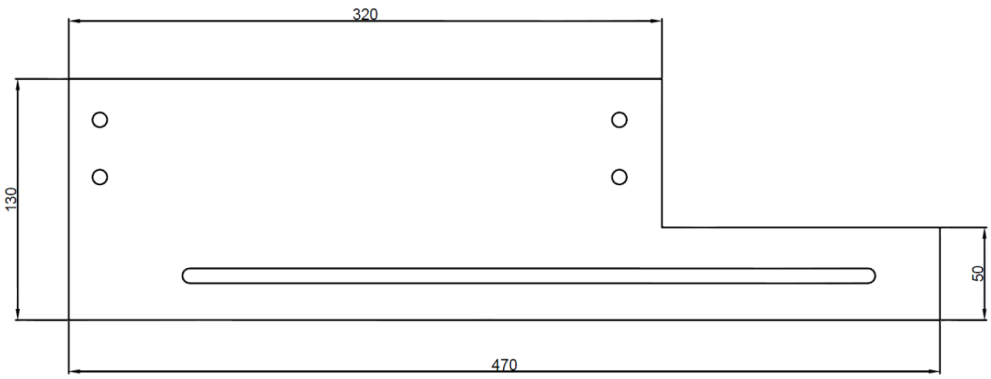


Figura 24 – Croqui da barra superior.

Assim como nas barras verticais, a barra horizontal também possui um trilho, para permitir o deslocamento linear do marcador de uma lateral do papel à outra. A fixação do marcador à barra horizontal é dada da seguinte maneira: o marcador é prensado de um lado por uma placa de material TS e do outro, por um L de alumínio, sendo este L fixado ao conjunto por meio de dois parafusos à barra horizontal. Feita a estrutura do sistema de liberação de ar comprimido, partiu-se para a construção do pino.

Uma das dificuldades, na fase de testes preliminares do mecanismo, foi a fixação do pino à base, pois ao se disparar o marcador algumas vezes, o prego fixado à placa de madeira começava a descer, variando a altura do pino. Para a solução deste problema, como base, foi utilizada uma placa de material TS, de maior espessura, e como pino, um parafuso M3.

Para a manufatura do perfil arredondado da cabeça do pino, foi utilizado um esmeril, desgastando-se a ponta do parafuso de forma manual, de maneira que a ponta apresentasse um perfil arredondado na ponta. Em seguida, para a fixação do parafuso à base, foi feito um furo passante de 2,7 mm, e em seguida foi aberta uma rosca para um parafuso M3. Feito isso, abriu-se um furo não passante com diâmetro 7,5mm para que fosse possível a passagem da cabeça do parafuso, de maneira que o mesmo ficasse alojado no interior da placa da base. Com este procedimento, foi possível não apenas a fixação do pino à base, eliminando o recuo do mesmo ao se disparar o marcador, como também foi possível a variação da altura do pino através do rosqueamento ou desrosqueamento do parafuso na base. Outra vantagem desse tipo de fixação é a possibilidade de troca do pino, caso este seja danificado.

No protótipo construído, foi utilizado um parafuso M3 pela maior disponibilidade e facilidade de se trabalhar a ponta. Porém, para que seja possível a impressão de uma cela Braille de acordo com a norma NBR 9050, o parafuso utilizado deverá ser de diâmetro menor, e sem cabeça, pois neste protótipo o diâmetro da cabeça do parafuso impossibilita a impressão de dois pinos

vizinhos em uma cela Braille, devido ao seu diâmetro ser maior do que a máxima distância permitida entre dois pinos em uma cela.

A figura 25 mostra uma imagem do protótipo construído.

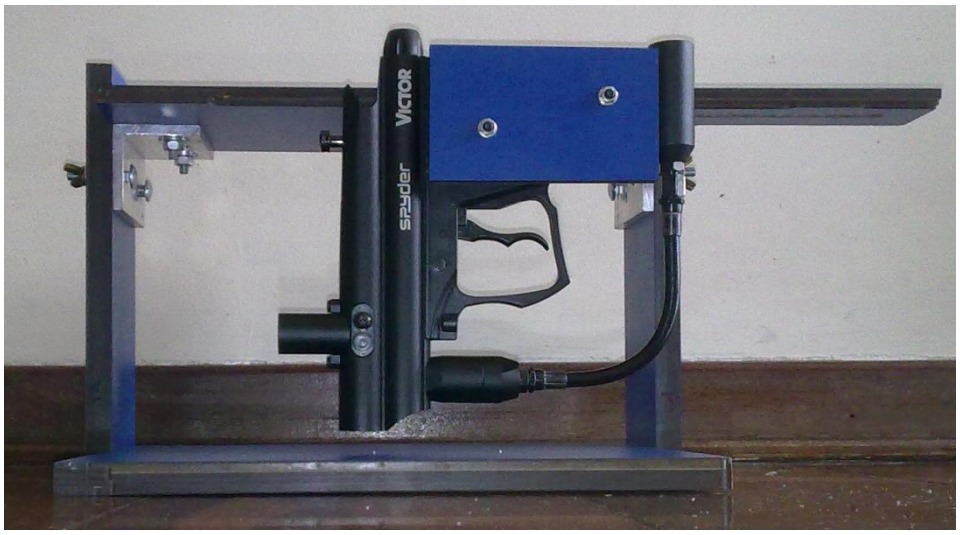


Figura 25 – Imagem do protótipo construído.

3.6 – Projeto do mecanismo de liberação de ar comprimido

Diante dos resultados satisfatórios obtidos na conformação do papel Braille pelo protótipo construído, foi elaborado o projeto de um mecanismo, semelhante ao marcador de paintball, porém já adaptado para a utilização em conformação de papel. Neste projeto, foram estudados cada um dos componentes do marcador, para que assim fosse possível elaborar possíveis modificações, necessárias ao projeto.

No estudo dos componentes, peças como o martelo, o corpo da válvula, o retentor, molas e outras peças responsáveis pela rápida liberação do ar comprimido foram mantidas, uma vez que a pressão do ar é a mesma. As partes que sofreram alterações foram as peças estruturais, como o corpo do marcador (cano), e as partes responsáveis pelo posicionamento e recarga de bolinhas de tinta do marcador.

Nesta adaptação, toda a parte de posicionamento e recarga das bolinhas foi removida, o que acarretou em uma mudança no cano do mecanismo. O ar, ao sair pela parte superior do corpo da válvula, ao invés de ser direcionado para impulsionar a bola de paintball pelo cano, é diretamente direcionado para o papel. Com esta adaptação, a perda de carga ao longo do trajeto será menor, uma vez que existirão menos curvas, os gastos com matéria prima serão menores, pois metade da estrutura do cano será descartada, e o mecanismo ficará mais comparto, assim, facilitando a

portabilidade do mesmo e possibilitando o posicionamento de mais de um mecanismo na estrutura da impressora, tornando-a capaz de imprimir mais de um pino simultaneamente.

Para as peças que não sofreram adaptações, foram elaborados desenhos de fabricação de cada uma individualmente, assim como, foi feita uma descrição mais detalhada das funções destas peças no mecanismo. Os desenhos das peças podem ser visualizados nos apêndices.

Lista de peças:

Peça	Martelo
Função	
Peça responsável por colidir com o pino da válvula liberando o ar comprimido do reservatório de ar para o cano de disparo e a câmara de colisão.	
Condições de projeto	
• Peça deve apresentar grande resistência a impactos. • Diâmetro externo deve ser menor do que o diâmetro interno do cano, para que o martelo possa se deslocar dentro dele. • O diâmetro do furo, na parte traseira da peça deve ser maior do que o diâmetro externo da mola helicoidal do martelo, para que assim ela possa se alojar dentro dele. • A redução do diâmetro externo na parte traseira da peça deve ser tal que, ao retornar para a posição carregada, o martelo consiga passar sobre a trava do gatilho. • O furo na parte superior da peça deve estar posicionado a uma distância da face frontal, tal que o rasgo no cano para o deslocamento do pino de recarga não permita o escape de ar da câmara de colisão antes que o martelo esteja travado no gatilho. • A peça deve ser de alumínio devido a densidade deste material ser baixa, o que faz com que a peça tenha um peso baixo, reduzindo-se assim o repuxo do mecanismo. • A peça deve apresentar um anel de vedação o mais próximo possível da face que se impacta com o pino, de para evitar que o ar passe na folga entre o martelo e a superfície interna do cano.	

Peça	Corpo da Válvula
Função	
Peça responsável por direcionar o ar comprimido do reservatório de ar para o cano do marcador e para a câmara de colisão.	
Condições de projeto	
• Diâmetro externo deve ser menor do que o diâmetro interno do cano, para que ela possa ser alocada dentro dele. • Deve conter um furo não passante na parte inferior para fixação da peça no cano. • O furo passante na parte superior da peça deve ter um diâmetro tal que se reduza ao máximo a perda de carga na válvula. • O diâmetro da abertura do corpo da válvula que é selada pelo retentor deve ser maior do que o diâmetro do pino da válvula de maneira que exista uma folga radial para a passagem do ar. • O diâmetro da abertura da face oposta a do retentor deve ser maior do que o diâmetro do pino	

da válvula, de maneira que o ar passe para a câmara de colisão apenas pelo espaço do rasgo do pino. • O corpo da válvula deve conter um anel de vedação perto de cada extremidade, para impedir que o ar comprimido escape através da folga entre a peça e a superfície interna do cano, evitando-se assim que o ar presente na câmara de ar escape para a câmara de colisão diminuindo assim a eficiência do mecanismo.

Peça	Pino da válvula
Função	
Peça responsável por, ao receber a colisão do martelo, empurrar o retentor para trás, liberando assim o fluxo de ar comprimido para o resto do marcador.	
Condições de projeto	
• Deve possuir uma rosca para possibilitar seu encaixe ao retentor • A peça deve apresentar alta resistência a impactos, por ser constantemente impactada pelo martelo. • O comprimento total desta peça deve ser maior do que o comprimento do corpo da válvula para que assim, a ponta da peça fique na câmara de colisão e sofra impacto do martelo.	

Peça	Retentor
Função	
Peça responsável por vedar a abertura do corpo da válvula que fica voltada para o reservatório de ar, impedindo que o ar comprimido saia do reservatório.	
Condições de projeto	
• É constituído de Nylon, para que assim tenha uma boa aderência ao corpo da válvula, evitando o escape de ar comprimido da câmara de ar. • Deve possuir diâmetro que possibilite seu encaixe com a mola. • Deve possuir uma rosca interna para que se encaixe ao pino da válvula.	

Peça	Guia do retentor
Função	
Peça responsável por servir de guia para o deslocamento do retentor, evitando que este saia da linha de centro do cano.	
Condições de projeto	
• A peça deve ter a menor espessura possível de maneira que suporte os esforços solicitados, para diminuir o atrito entre o guia do retentor e a superfície interna do cano. • Deve apresentar vãos em sua borda para que o ar possa escoar pela peça. • O furo passante no centro da peça deve apresentar diâmetro que possibilite seu encaixe ao retentor.	

Peça	Tampo frontal
Função	
Peça responsável por permitir a entrada do ar na câmara, assim como pela vedação do cano.	
Condições de projeto	
• Deve possuir um diâmetro externo menor do que o diâmetro interno do cano, de maneira que a peça entre justa no cano para assim se evitar ao máximo o escape de ar na câmara. • O furo na parte inferior deve apresentar uma rosca para fixar o tampo ao cano.. • A profundidade do furo não passante na direção da linha de centro da peça deve ser tal, que ele encontre o furo roscado da parte inferior, formando assim um caminho para o ar comprimido. • Deve possuir um rebaixo para possibilitar o encaixe da mola. • Peça deve possuir um anel de vedação entre a face externa ao cano e o furo roscado para evitar a saída de ar da câmara.	

Peça	Amortecedor do Martelo
Função	
Peça responsável por amortecer o choque do recuo do martelo com o tampo do martelo.	
Condições de projeto	
• O diâmetro do furo do amortecedor deve ser maio do que o diâmetro externo da mola do martelo de maneira que ela passe por dentro do furo.	

Peça	Guia da mola e ajustador de velocidade
Função	
Peça responsável por ser uma guia para a mola do martelo e permitir o ajuste da velocidade de disparo.	
Condições de projeto	
• A parte com rosca da peça deve ter uma rosca com o mesmo diâmetro da rosca do tampo do martelo, para que assim ela possa ser rosqueada ao tampo. • A peça deve conter um anel de vedação no início da parte roscada, para que se evite o escape de ar comprimido pela folga entre o ajustador de velocidade e o tampo do martelo.	

Peça	Tampo do martelo
Função	
Peça responsável por selar a câmara de colisão	
Condições de projeto	

• Deve possuir uma rosca externa para que possa ser rosqueado ao cano. • Deve possuir rosca interna para ser encaixado ao guia da mola. • A peça deve ter um furo passante para que assim seja possível o ajuste de velocidade de disparo por meio do rosqueamento ou desrosqueamento do ajustador de velocidade na peça.

Peça	Adaptador vertical
Função	
Peça responsável por fazer a adaptação vertical entre o cano e o adaptador da mangueira, para possibilitar a entrada de ar no cano.	
Condições de projeto	
• A peça deve apresentar um raio de curvatura igual ao raio de curvatura da base do cano, de maneira a se adaptar uma superfície a outra. • A peça deve conter um furo passante de diâmetro maior do que o do parafuso “oco”, de maneira que o parafuso passe com certa folga, e devido a essa folga, é utilizado um anel de vedação para evitar o escape de ar pela folga entre o furo da peça, o parafuso e o cano. • Na parte superior deve haver um chanfro na lateral da peça de maneira que se eliminem os cantos vivos do acoplamento entre a peça e o cano. • Na parte inferior, o diâmetro da rosca interna para o adaptador da mangueira.	

Outros componentes são necessários, como o-rings para vedar todas as possíveis saídas de ar, adaptador para a mangueira de ar comprimido que deve ser especificada após a escolha do compressor de ar e de sua mangueira.

Alguns fatores que podem influenciar o projeto estão relacionados com a montagem da impressora. Uma vez que o objetivo deste trabalho é desenvolver apenas o mecanismo e não a impressora completa, algumas alterações podem ser necessárias quando esta for montada. Dentre elas está a necessidade de girar na direção do eixo do cano alguns componentes do mecanismo a fim de impedir que, por exemplo, o pino que possibilita carregar o mecanismo no primeiro disparo fique com parte de seu corpo na área de impressão.

3.6.1 Lubrificação do mecanismo

Para obter uma maior durabilidade do mecanismo são necessárias algumas ações de manutenção, como é o caso da lubrificação. Para isso, deve-se levar em consideração características funcionais como a compatibilidade química, a lubricidade, a viscosidade, a faixa de temperatura e a estabilidade de oxidação. E em adição às características funcionais, deve-se ainda considerar as características de segurança, como a toxidade e a inflamabilidade.

Ao selecionar um lubrificante para este mecanismo, a questão da estabilidade química se torna muito importante, uma vez que este mecanismo é composto por partes plásticas, assim como selos sintéticos de borracha de vários tipos. Estes componentes são suscetíveis ao ataque químico de solventes, óleos incompatíveis e graxas, podendo ocasionar danos na forma de deformações, deteriorizações, redução da vida útil, e índices de falha acelerados. Estes tipos de danos levam o mecanismo a desenvolver características anormais de operação como vazamento do ar comprimido, enguiço da válvula.

A proposta inicial do lubrificante é de reduzir o atrito e minimizar o desgaste separando as superfícies através de um filme de lubrificante. A viscosidade é uma medida da resistência ao escoamento do lubrificante, em que uma característica presente em uma grande parte dos lubrificantes é a de diminuir a viscosidade, conforme a temperatura aumenta, assim como de aumentar, quando a temperatura diminui. Logo, para a seleção do lubrificante deste mecanismo deve-se lembrar que o CO_2 é armazenado a -52°C no estado líquido.

A oxidação é a reação química do óleo com o oxigênio, que é uma forma de deterioração na qual todos os tipos de óleo de petróleo estão sujeitos. Esta reação é acelerada pelo aumento da temperatura, na presença de água e contaminantes sólidos, em que ao oxidar, o óleo forma produtos de degradação como lodo e ácidos orgânicos. Conforme o óleo é oxidado, a viscosidade do fluido aumenta, assim como a presença dos produtos de degradação, em que o lodo irá se depositar nas superfícies de deslizamento ocasionando uma maior resistência ao deslocamento das peças, e os ácidos podem ser corrosivos para os componentes metálicos do mecanismo.

Um aspecto importante para a utilização de lubrificantes derivados do petróleo, é que para a utilização do mecanismo com ar comprimido ao invés de CO_2, ao se utilizar o mecanismo, o óleo começa a aquecer, e com o excesso de ar na câmara, ele pode vir a inflamar e acabar ocasionando a explosão do mecanismo.

Cada tipo de material que compõe o anel de vedação apresenta uma característica assim como uma interação com o lubrificante distinta, como é o caso dos anéis que contém elevadas quantidades de nitrila, que é bastante utilizado neste tipo de mecanismo, por apresentar boa resistência química e poder ser projetado para resistir a diversas temperaturas. Para funcionar a elevadas temperaturas, os anéis de nitrila devem conter plastificantes. A utilização de lubrificantes de silicone com este tipo de anel tende a remover os plastificantes das nitrilas causando endurecimento e/ou encolhimento do mesmo.

Uma tabela apresentando as diferentes composições dos anéis de vedação, e o tipo de lubrificante mais indicado para cada tipo de anel é mostrada na tabela 3.

Tabela 3 – Composição dos anéis de vedação e o tipo de lubrificante apropriado.

Composição do anel

S - Silicone N - Nitrila

P - Poliuretano T - PTFE

Lubrificante	S	P	N	T
Graxa de silicone	3	1	1	1
Vaselina	4	1	1	1
Semi lubrificante V.14	2	1	1	1
Óleo de motor	4	1	1	1
Água	4	1	2	1
Fluido de freio	3	4	3	X

1 Bom

2 Razoável

3 Duvidoso

4 Insatisfatório

X Dados insuficientes

3.6.2 Possíveis locais de falha no componente

Semelhante a qualquer outro mecanismo, o marcador de paintball pode apresentar desgaste em suas peças devido ao impacto e o número elevado de ciclos em seu funcionamento, podendo comprometer seu bom funcionamento. Estas falhas podem ser ocasionadas por erros na manufatura ou mau uso do equipamento pelo usuário.

Tabela 4 – Falha nos componentes do marcador.

Item	Tipo de falha	Efeito da falha	Causa da falha
Cano	Perfuração ou polimento incompleto no interior do cano	Quebra prematura da bola de paintball	Imperfeições na superfície interna
Anel de vedação do martelo	Rasgo ou ruptura	Carga e recarga do marcador incertos	Uso repetitivo do anel de vedação
Mola do mecanismo do gatilho	Deformação plástica ou fratura	Incapacidade para disparar o marcador	Distribuição desigual das forças e métodos de manufatura impróprios

4. CONCLUSÕES

Na primeira parte do trabalho, em que foram analisadas as tensões causadas pelo ar comprimido no papel por meio do estudo por elementos finitos, pôde-se concluir que analisando todos os procedimentos realizados, assim como os resultados obtidos para as simulações de um experimento que consiste em aplicar uma onda de pressão sobre uma folha de papel apoiada sobre um pino fixo, pôde-se notar que as tensões, na folha de papel, obtidas pela ação do ar comprimido são suficientemente elevadas para conseguir uma deformação plástica no papel de impressão Braille.

Fazendo-se uma análise dos resultados obtidos para a simulação do experimento executado por Kaihami, pode-se notar que as tensões na folha de papel obtidas foram extremamente elevadas, ou seja, foram muito superiores à tensão de escoamento do papel, o que faz com que o papel, no caso real, seja conformado, ou até rasgado, mesmo quando consideradas as incertezas descritas anteriormente. Isto pode ser afirmado pelo fato de as tensões obtidas pela simulação no software Abaqus® apresentarem uma ordem de grandeza duas vezes maior do que a da tensão de escoamento do papel.

Para os resultados obtidos nas simulações para a determinação do diâmetro do bocal não é possível afirmar que o papel será conformado nos três casos. Para os casos em que os diâmetros do bocal foram de 8,0mm e 5,0mm as tensões obtidas no papel são da mesma ordem de grandeza das obtidas no experimento de Fábio J.K., o que pode significar o possível rasgamento do papel no caso real. Já simulação feita com bocal de diâmetro de 3,4mm pode ser considerada como o caso limite para a conformação do papel, uma vez que, as tensões obtidas no papel forma próximas a de escoamento do papel.

Na parte de experimentos, pôde-se concluir que, na prática, o mecanismo de liberação de ar comprimido não precisa estar encostado na folha de papel para conseguir conformá-lo, a pressão do CO_2 comprimido já é capaz de marcar o pino a uma distância de aproximadamente 3 cm. O fato do bocal não precisar estar encostado ao papel para conformar o pino elimina a necessidade de um mecanismo de deslocamento vertical. Desta forma, pode-se reduzir o tempo gasto em impressão, pois o ar pode ser liberado sem que seja necessário esperar o posicionamento do bocal e elimina-se o possível problema de deformar pinos previamente marcados com o bocal. Pelo mesmo motivo, análises futuras podem estudar uma possível redução na pressão do ar comprimido tal que o limite de impressão do pino seja a uma distância mínima do mecanismo ao papel. Esta análise, contudo, não é possível de ser realizada pelo software de elementos finitos nem por alterações no mecanismo utilizado, uma vez que seus componentes foram dimensionados de forma a torna-lo semi-automático com a pressão de 1,38MPa. Caso essa pressão seja diminuída, o ar desviado para a

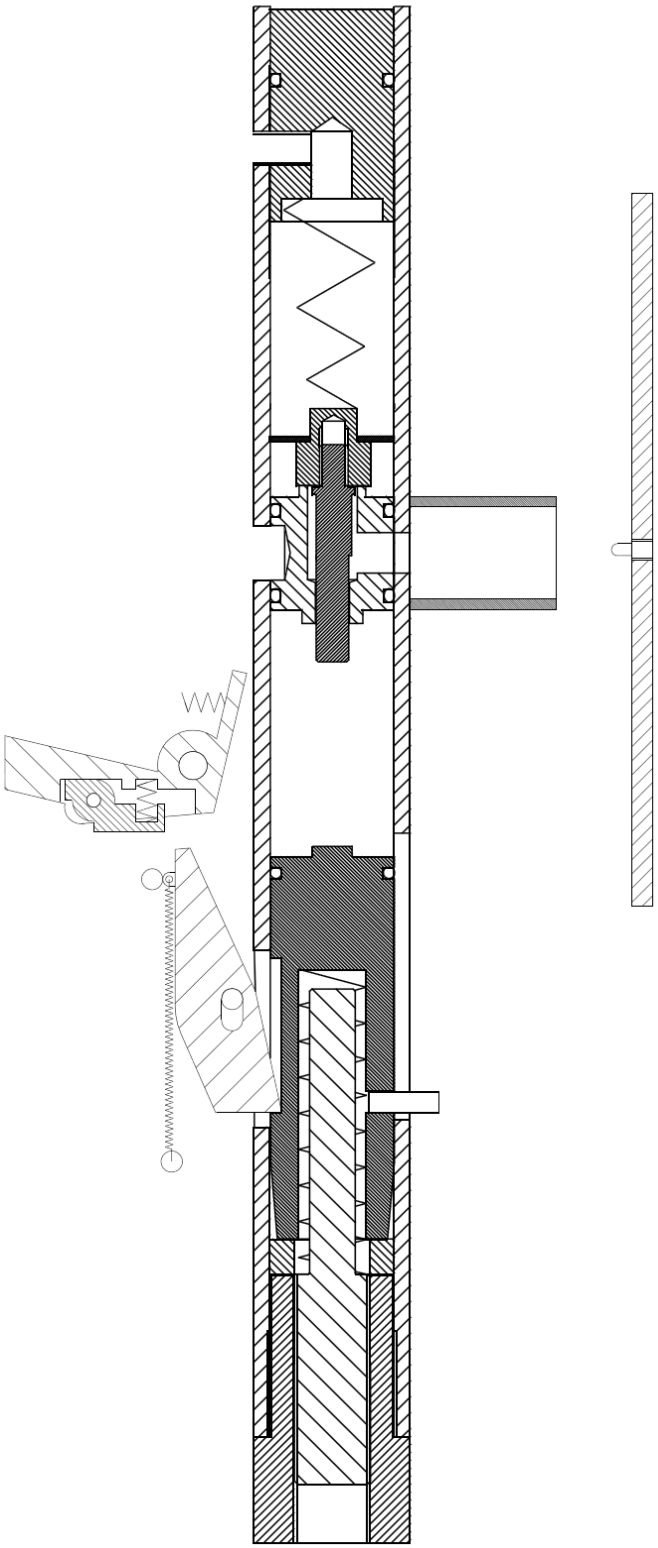
câmara de colisão não será capaz de mover o martelo e recarregar o mecanismo. Contudo, tal análise pode ser efetuada por simulações em software de volumes finitos, observando a pressão do fluido na superfície do pino, tendo como volume de controle um trecho reto do bocal e uma área ao redor do pino com diâmetro suficiente para observar a expansão do ar neste trecho, a partir de um pulso de pressão no bocal (à distância de 3cm da folha obtida experimentalmente) igual a pressão do mecanismo estudado neste trabalho. A partir da pressão obtida no pino, podem-se realizar simulações com diferentes alturas e pressões do bocal para ser possível otimizar o mecanismo.

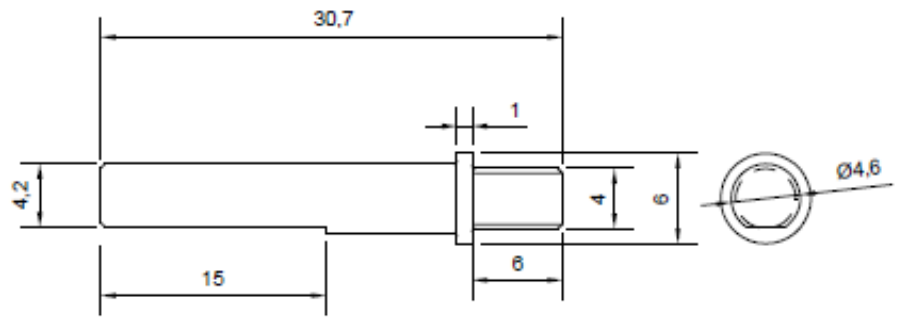
A dependência direta da conformação do papel na precisão no formato do pino pode resultar inicialmente em um encarecimento de impressoras Braille por ar comprimido, já que os pinos possuem dimensões reduzidas. Em contrapartida, foi eliminada a necessidade de um mecanismo de deslocamento vertical ao se notar nos testes que o bocal pode estar a uma distância de até 5cm do papel, diminuindo a complexidade e custo do mecanismo. Com isso, espera-se conseguir um preço de fabricação e manutenção inferior as impressoras Braille existentes no mercado, uma vez que estas também precisam de pinos fabricados com precisão, porém com um material de custo mais elevado e vida útil menor.

Como próximas etapas para a construção de uma impressora Braille de ar comprimido deve-se: 1- desenvolver um mecanismo para possibilitar o primeiro carregamento, que puxe o pino do martelo até sua posição carregada sem influenciar o funcionamento do mecanismo durante os disparos; 2- desenvolver um mecanismo para efetuar o disparo pelo acionamento da alavanca do gatilho, sendo acionado eletronicamente para possibilitar a programação de impressão; 3- Analisar a possibilidade de redução da pressão do ar comprimido observada pela distância do bocal à folha de papel nos testes com o protótipo. Caso esta análise mostre a possibilidade de redução da pressão, deve-se redimensionar as molas do martelo e do retentor do mecanismo para que este possa ser recarregado pela nova pressão de ar comprimido; 4- Projetar um mecanismo capaz de mover a folha de papel sobre o pino para possibilitar a impressão; 5- Projetar uma matriz contendo mais de um bocal a fim de aumentar a velocidade de impressão; 6- Escolher um compressor de ar capaz de atingir a pressão de ar necessária, assim como mangueiras e adaptadores para seu encaixe ao mecanismo. 7- Desenvolver um software capaz de comandar a impressão.

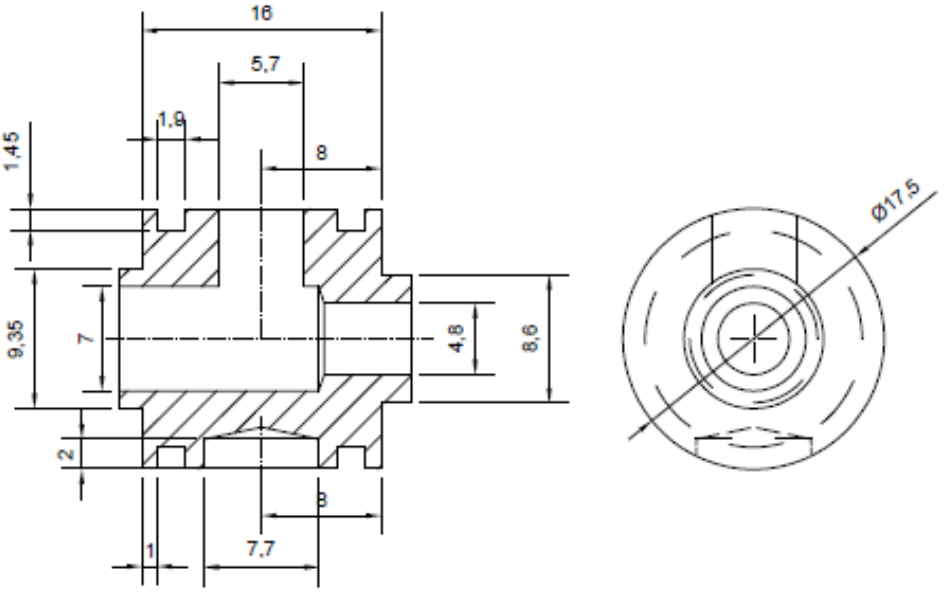
5. APÊNDICE

Desenhos das peças do mecanismo de liberação do ar comprimido, do mecanismo de gatilho e do pino fixo. Abaixo pode ser visualizado o esquema de montagem do mecanismo.

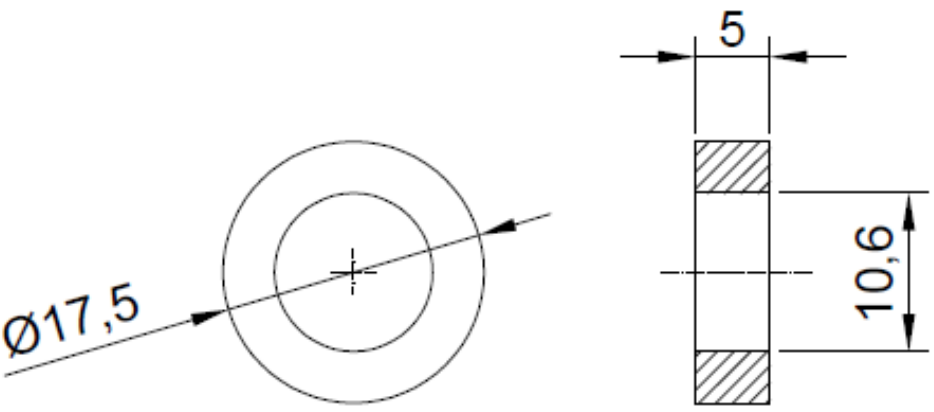




1	Pino da válvula	1	Alumínio
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 2:1	PINO DA VÁLVULA		06/11/2010

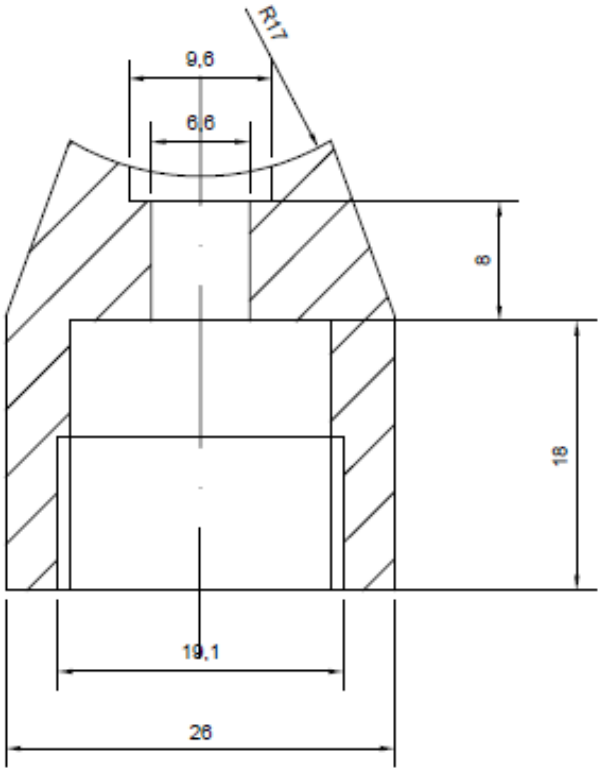


1	Corpo da válvula	1	AISI ....
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 2 : 1	CORPO DA VÁLVULA		06/11/2010



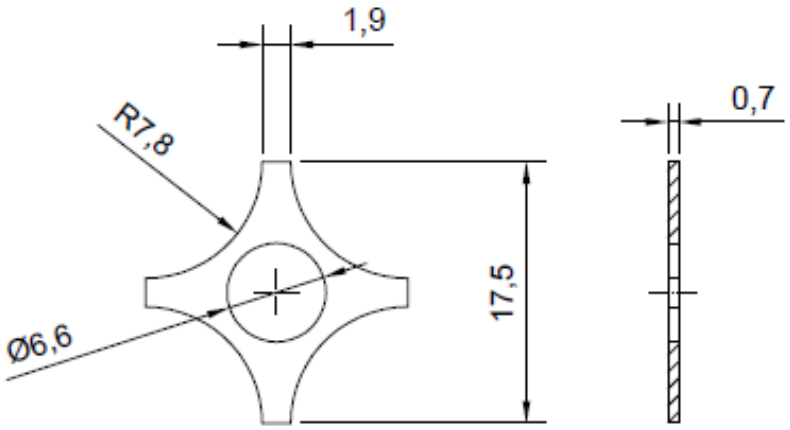
Item	Discriminação	Quantidade	Material
1	Amortecedor do martelo	1	Borracha

ESCALA 2:1	AMORTECEDOR DO MARTELO	06/11/2010

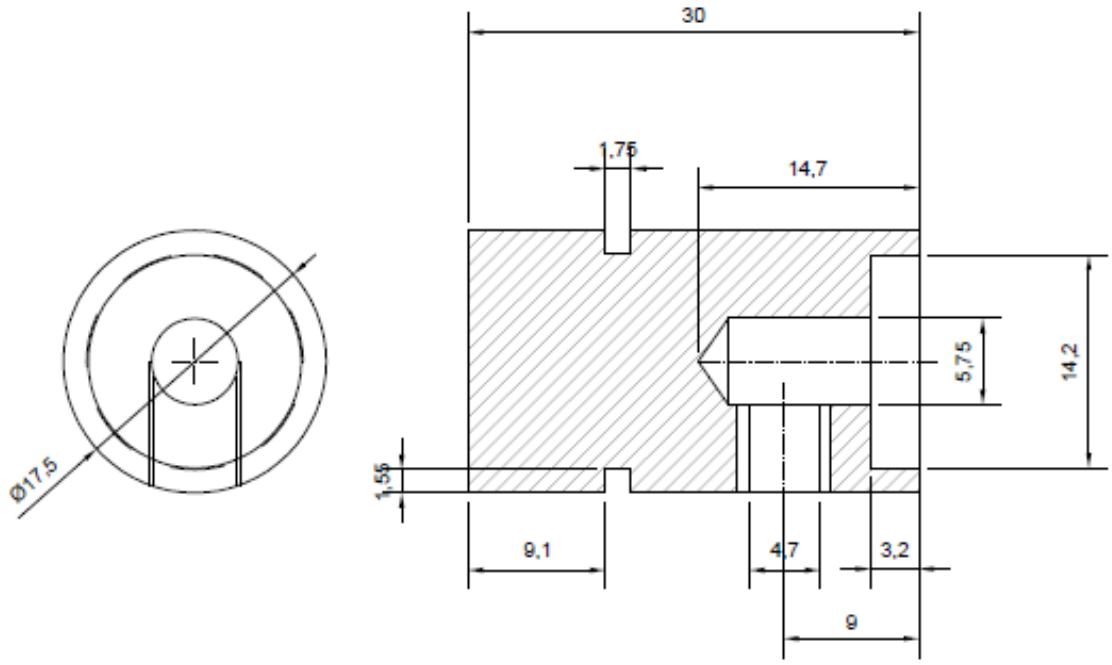


Item	Discriminação	Quantidade	Material
1	Adaptador vertical	1	Alumínio

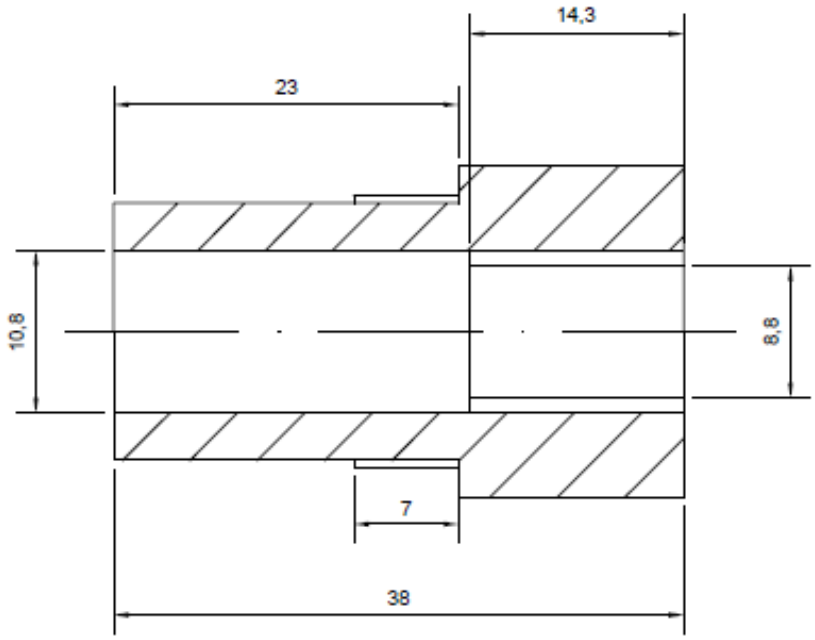
ESCALA 2:1	ADAPTADOR VERTICAL	06/11/2010



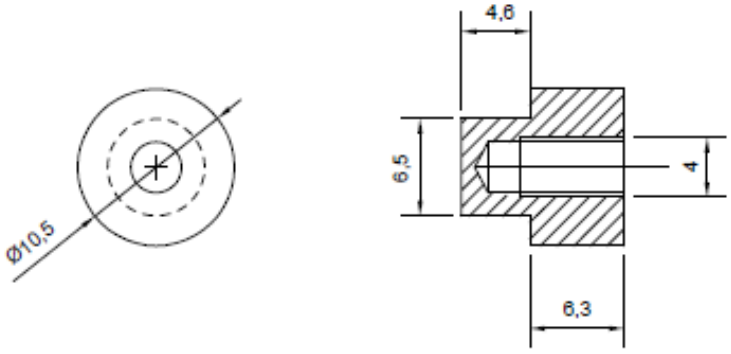
1	Guia do Retentor	1	
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 1:2	GUIA DO RETENTOR		06/11/2010



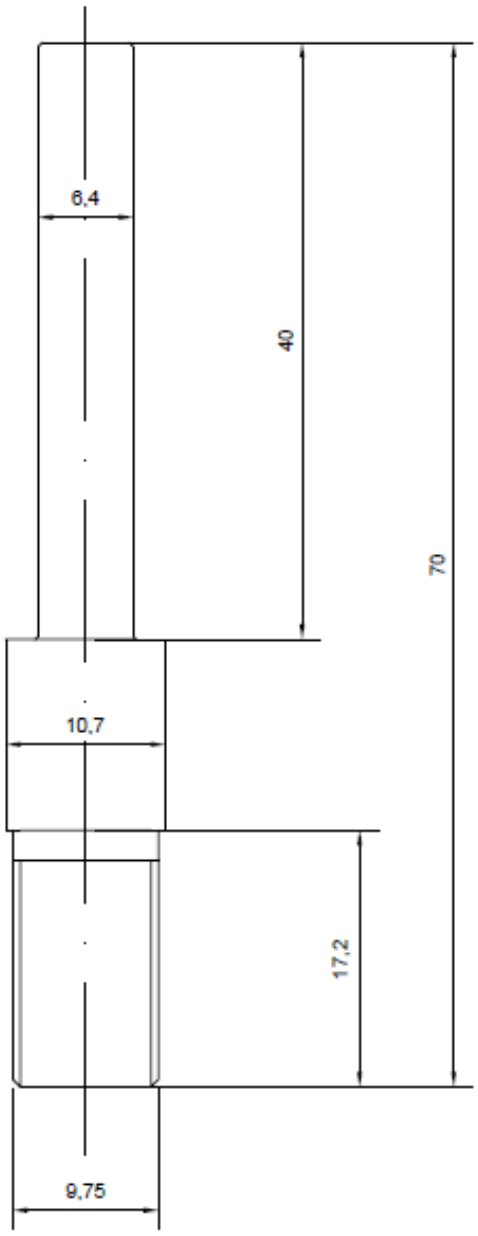
1	Tampo Frontal	1	Alumínio
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 1:2	TAMPO FRONTAL		06/11/2010



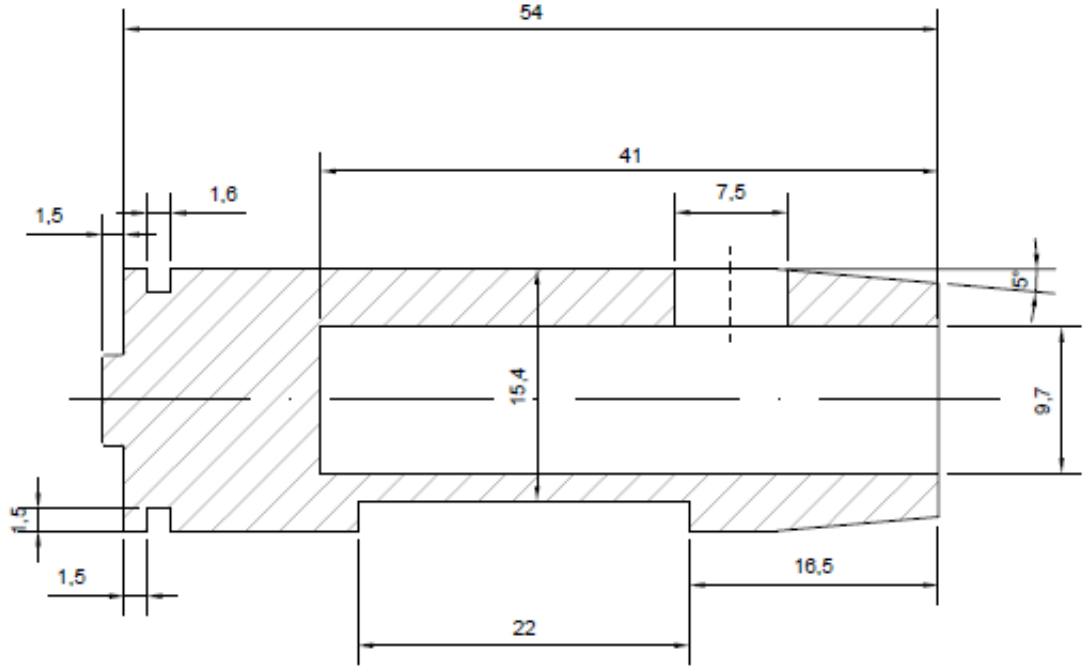
1	Tampo do martelo	1	Alumínio
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 2:1	TAMPO DO MARTELO		06/11/2010



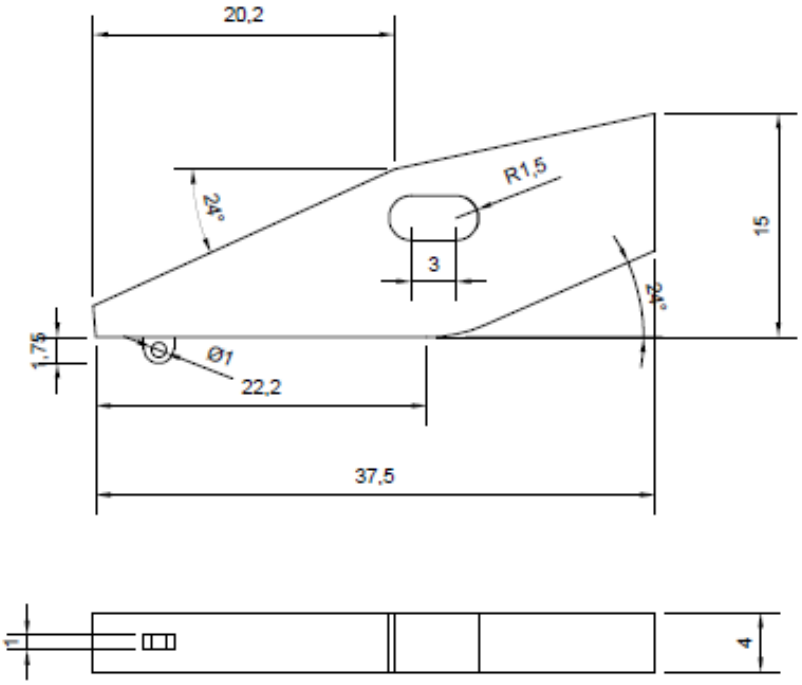
1	Retentor	1	Nylon
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 2:1	RETENTOR		06/11/2010



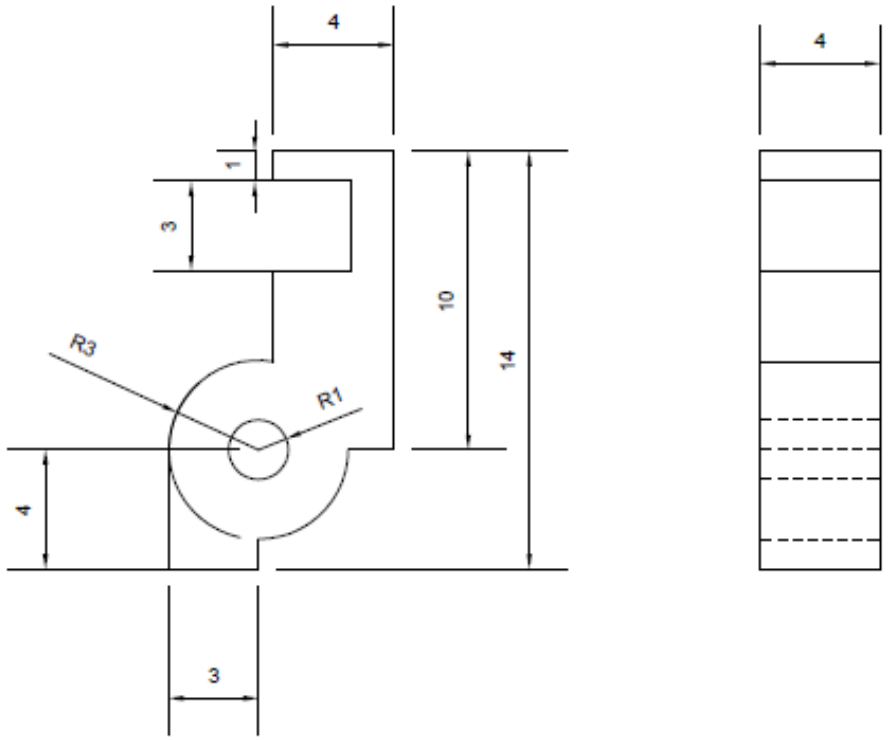
1	Guia da mola	1	Alumínio
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 2:1	GUIA DA MOLA		06/11/2010



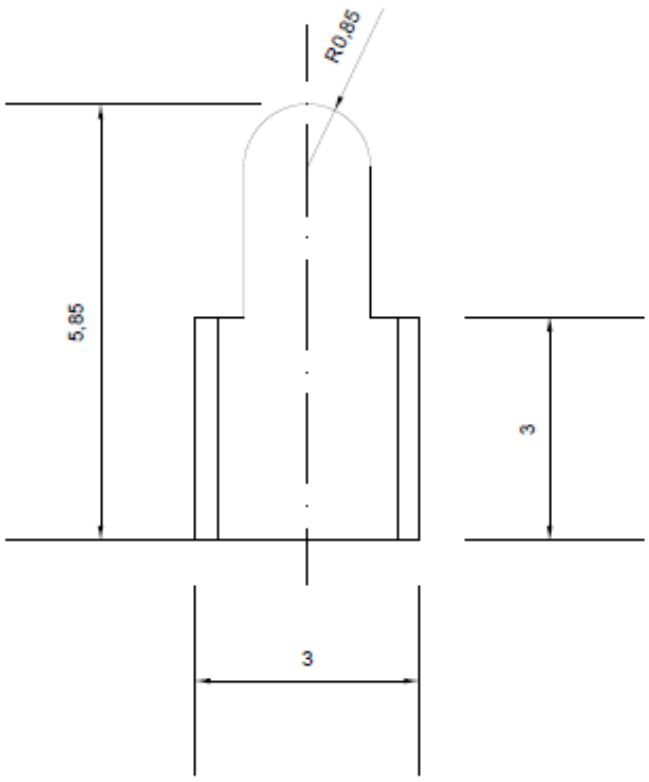
1	Martelo	1	Alumínio
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 2:1	MARTELO		06/11/2010



1	Trava do gatilho	1	Alumínio
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 2:1	TRAVA DO GATILHO		06/11/2010



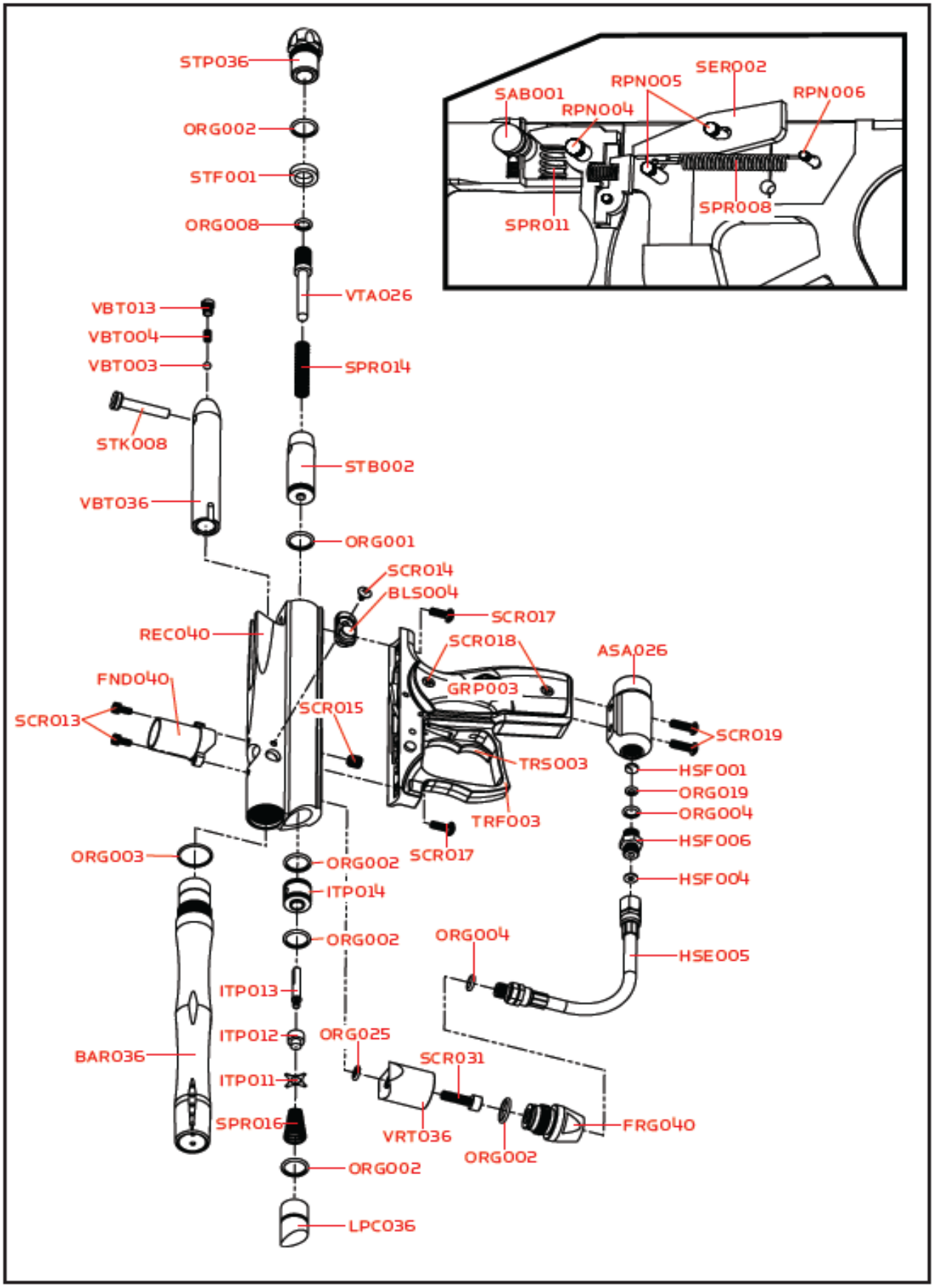
1	Gatilho	1	Alumínio
Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 4:1	GATILHO		06/11/2010



Item	Discriminação	Quantidade	Material
ESCALA 10:1	PINO		06/11/2010

6. ANEXO

VICTOR SCHEMATICS



VICTOR PARTS LIST

ASA026	C/A Adapter (matte black)	RPN006	Secondary Roll Pin (small)
* BAR001	Spyder Barrel Plug	SAB001	Safety Button (C)
BAR036	1PCS Barrel (matte black)	SCR013	M4 x 8 Screw (A)
BLS004	Detent Cover w/Ball Bearing (C)	SCR014	M4 x 8 Screw (+)
FND040	Feed Neck (matte black)	SCR015	Valve Body Screw (A)
FRG040	Hose Adapter (matte black)	SCR017	M5 x 12 Screw (A)
GRP003	Rubber Grip Cover (black)	SCR018	M3 x 8 Screw (+)
HSE005	Disconnect Hose (male x female) 7.75*	SCR019	M5 x 28 Screw C/A Adapter Screw (A)
HSF001	Air Filter	SCR031	Vertical Screw (A)
HSF004	Plastic Washer	SER002	Sear (semi)
HSF006	Male to Male Adapter (met x met)	SPR008	Sear Spring (semi)
ITP011	Cup Seal Guide	SPR011	Trigger Spring (semi)
ITP012	Cup Seal	SPR014	Striker Spring (shorter)
ITP013	Valve Pin	SPR016	Valve Spring (new)
ITP014	Valve Body	STB002	Striker Bolt
LPC036	Front Plug 09 (matte black) (semi)	STF001	Striker Buffer
ORG001	Striker O-ring #14.3 1.7 60pu	STK008	Top Cocking Knob
ORG002	O-ring #15 80	STP036	Striker Plug Threaded 09 (matte black)
ORG003	Barrel O-ring #22 1.5 80	TRF003	Composite Trigger Frame
ORG004	O-ring #11 80	TRS003	Double Trigger (semi)
ORG008	O-ring #10 80	VBT003	Delrin Bolt Locking Bearing
ORG019	O-ring #09 80	VBT004	Delrin Bolt Locking Spring
ORG025	Vertical O-ring	VBT013	Delrin Bolt Locking Screw
* PAK006	Spare Parts Kit 09 (semi's)	VBT036	09 Delrin Bolt w/ Locking Knob (semi)
REC040	Victor 09 Receiver (matte black)	VRT036	Vertical Adapter (matte black)
RPN004	Trigger Roll Pin (large)	VTA026	Velocity Adjuster & Spring Guide (matte black)
RPN005	Sear Roll Pin (med)		

* Item Not Pictured

7. LISTA DE REFERÊNCIAS

[1] **HOW STUFF WORKS** - < http://entertainment.howstuffworks.com/paintball2.htm>; acesso em 20 de outubro de 2009

[2] **CIVIAM BRASIL -** <http://www.civiam.com.br/lista_necessidades.php?scateg=224>; acesso em 25 de outubro de 2009

[3] **KAIHAMI, FABIO JUNJI**; IMPRESSORA BRAILLE: ESTUDO DA VIABILIDADE FÍSICA UTILIZANDO AR COMPRIMIDO PARA IMPRESSÃO BRAILLE; TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2007, EPUSP.

[4] **IG -** < http://www.sandroeshirlei.hpg.ig.com.br/louis.htm>; acesso em 23 de outubro de 2009

[5] **SPYDER PAINTBALL PRODUCTS -** <http://www.spyder.tv//section/support/diagrams_manuals.html>, acesso em 26 de março de 2010

[6] **MAGALHÃES, P.G.; FIGUEIREDO, P.R.; DEDINI, F.G.,** Rigidez do papelão ondulado: comparação entre resultados experimentais e os obtidos por cálculo analítico. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.26, n.1, p.190-199, jan./abr. 2006

[7] **ALFAMATEC EQUIPAMENTOS PNEUMÁTICOS -** <http://www.alfamatec.com.br/catalogos/werk-schott/werk-schott-cilindro-mini-iso.pdf>; acesso em 15 de maio de 2010

[8] **DESIGN DECISIONS WIKI -** <http://ddl.me.cmu.edu/ddwiki/index.php/Paintball_gun>; acesso em 20 de maio de 2010

[9] **WARPIG.COM -** <http://www.warpig.com/paintball/technical/>**;** acesso em 23 de outubro de 2010

[10] **MAT WEB – MATERIAL PROPERTY DATA** - <http://www.matweb.com/>; acesso em 23 de outubro de 2010