

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**IMPRESSORA BRAILLE – Estudo de viabilidade física utilizando ar
comprimido para impressão Braille**

Fábio Junji Kaihama

São Paulo

2007

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**IMPRESSORA BRAILLE – Estudo de viabilidade física utilizando ar
comprimido para impressão Braille**

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

Fábio Junji Kaihama

Orientador: Raul Gonzalez Lima

**Área de Concentração:
Engenharia Mecânica**

São Paulo

2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Kaihami, Fabio Junji

Impressora Braille : estudo da viabilidade física utilizando ar

comprimido para impressão Braille / F.J. Kaihami. – São Paulo, 2008.

59 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade

de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Impressão Braille 2. Gramatura 3. Método dos elementos finitos 4. Módulo de elasticidade I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

RESUMO

O sistema de leitura e escrita universalmente utilizado por pessoas cegas é o Braille, e foi inventado na França por Louis Braille, um jovem cego, em 1825. Em 1878, um congresso internacional realizado em Paris, com a participação de onze países europeus e dos Estados Unidos, estabeleceu que o Sistema Braille deveria ser adotado de forma padronizada, para uso na literatura. Atualmente as impressoras Braille utilizam pinos movidos pela ação de solenóides, que se chocam contra o papel formando os pontos em alto relevo. Porém a manutenção destas impressoras é de alto custo. Neste trabalho será investigada a viabilidade de utilização de um método alternativo para impressão Braille utilizando ar comprimido respeitando a norma NBR 9050. A pressão necessária para se obter a impressão foi calculada utilizando dados empíricos sobre as propriedades do papel, conceitos de elementos finitos. Foram realizados testes mostrando a viabilidade do processo.

ABSTRACT

The system for reading and writing used by blind people is the Braille. This system was invented in France by Louis Braille, a young blind person, in 1825. In 1878, an international conference held in Paris, with the participation of eleven European countries and the United States, adopted the Braille as a standard system in literature.

The Braille system uses the combination of 6 points in high relief to form their symbols, forming 64 symbols. Today the Braille printers use long pins accelerated, by electromagnetic forces, against the paper, forming the points in high relief. But the maintenance of these printers have high cost. This work investigates the feasibility of using an alternative method to print Braille using compressed air. The pressure necessary to obtain the print was computed with the aid of experimental data of the properties of paper and concepts of finite elements. The feasibility of the procedure was shown through experimental tests.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Massa de cada elemento	25
Tabela 2 – Área dos componentes do corpo de prova	25
Tabela 3 – Massas	25
Tabela 4 – Braços do momento	25
Tabela 5 – Momentos aplicados	25
Tabela 6 – Deslocamentos – primeira simulação	28
Tabela 7 – Tensões – primeira simulação	28
Tabela 8 – Deslocamentos – segunda simulação	30
Tabela 9 – Tensões – segunda simulação	31
Tabela 10 – Módulo de elasticidade para diferentes gramaturas e espessuras	34
Tabela 11 – Classe de pressão do flange por temperatura e pressão de trabalho	46
Tabela12 – Pontos de teste – placa de impressão	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Secção transversal do corpo de prova	2
Figura 2 – Célula Braille	5
Figura 3 – Flange integral	6
Figura 4 – Flange de pescoço	6
Figura 5 – Flange sobreposto	7
Figura 6 – Flange Rosqueado	7
Figura 7 – Flange de encaixe	8
Figura 8 – Flange Solto	8
Figura 9 – Flange cego	9
Figura.10 – Válvula gaveta	11
Figura 11 – Válvula macho	12
Figura12 – Válvula Globo de regulação	13
Figura13 - Válvula de retenção de portinhola	13

Figura 14 – Válvula de segurança	14
Figura 15 – Esquema físico da experiência	16
Figura 16 – Corpo de prova	17
Figura 17 – Corpo de prova dobrado	17
Figura 18 – Braços no corpo de prova	19
Figura 19 – Modelo com cinco elementos do corpo de prova	20
Figura 20 – Malha	21
Figura 21 – Pontos externos	21
Figura 22 – Pontos intermediários	22
Figura 23 – Pontos centrais	22
Figura 24 – Área sobre pressão	22
Figura 25 – Carregamento Nulo	24
Figura 26 – Deformação plástica	24
Figura 27 – Deslocamento	26
Figura 28 – Modelo	27
Figura 29 – Numeração dos nós	29
Figura 30 – Numeração dos elementos	29
Figura 31 – Momento fletor M_{xx}	32
Figura 32 – Momento fletor M_{xy}	32
Figura 33 – Momento fletor M_{yy}	33
Figura 34 – Força cortante q_x	33
Figura 35 – Força cortante q_y	33
Figura 36 – Modelo em Solid Works	35
Figura 37 – Tensões	37
Figura 38 – Deslocamento vertical	38
Figura 39 – Papel e placa para experimento de pressão estática	39
Figura 40 – Cilindro de pressão	40
Figura 41 – Esquema físico do cilindro de pressão	41
Figura 42 – Fluxograma – Vaso de pressão	45
Figura 43 – Sistema de disparo rápido de ar comprimido	48

Figura 44 – Bico de saída	49
Figura 45 – Máquina de eletro-erosão a fio	51
Figura 46 – Esquema de teste 01	52
Figura 47 – Esquema de teste 02	53
Figura 48 – Esquema de teste 02	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Cálculo do momento de inércia	2
2.2 Cálculo de σ conhecido o momento fletor	3
2.3 Relação de força e pressão	3
2.4 Relações para gases perfeitos	3
2.5 Flambagem	3
3 NORMA NBR 9050	5
4 FLANGES	6
5 VÁLVULAS	9
5.1 Construção das válvulas	9
5.1.1 Tipos de fixação do castelo ao corpo de válvula	9
5.1.2 Extremidades das válvulas	9
5.2 Acionamento das válvulas	10
5.3 Classificação da válvula	10
5.3.1 Válvulas de bloqueio	10
5.3.2 Válvulas de regulação	12
5.3.3 Válvulas que permitem o fluxo em um só sentido	13
5.3.4 Válvula que controla a pressão a montante	14
6 DADOS DO PAPEL	
6.1 Largura e comprimento	15
6.2 Espessura	15
6.3 Gramatura	15
7 EXPERIÊNCIA – MÓDULO DE ELASTICIDADE E MOMENTO FLETOR	16
7.1 Momento Fletor	18
7.1.2 Cálculo do momento fletor no corpo de prova	18
7.1.3 Cálculo do braço do momento fletor	18
7.2 Momento de Inércia	19

7.3 Tensão máxima em regime elástico	19
8 WINFELT – O PROCESSADOR DE ELEMENTOS FINITOS	20
8.1 Simulações realizadas	
8.1.1 Módulo de elasticidade	21
8.1.2 Pressão mínima	22
9 RESULTADOS DO WINFELT	
9.1 Momento fletor mínimo para deformação plástica	24
9.2 Determinação do módulo de elasticidade	
9.2.1 Deslocamento para determinação do módulo de elasticidade	26
9.2.2 Momento fletor e força equivalente	27
9.2.3 Determinação do módulo de elasticidade pelo winfelt	28
9.3 Pressão mínima	29
9.3.1 Gráficos das tensões	32
10 ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
11 ANÁLISE PELO SOLIDWORKS	
11.1 Modelo Simuldado	35
11.2 Condições de Contorno	36
12 RESULTADOS DO SOLIDWORKS	37
12.1 Pressão Mínima	37
13 TESTE DE PRESSÃO ESTÁTICA	39
14 FORMAS DE OBTER A PRESSÃO PARA TESTE	40
14.1 Compressão de ar	40
14.1.2 Equipamentos necessários	42
14.1.3 Cálculos dos esforços	42
14.1.4 Viabilidade	43
14.2 Vaso de pressão	44
14.2.1. Flanges escolhidas	45
14.2.2 Escolha da válvula	47
14.2.3 Determinação da rosca do cilindro	47
14.2.4 Viabilidade	47

15 IMPRESSÃO COM JATOS DE PRESSÃO	
15.1 Tipo de válvula	48
15.2 Sistema de disparo	48
15.3 Funcionamento do sistema	49
15.4 Bico de saída	49
15.5 Usinagem do bico	49
15.6 Eletro-erosão	50
16 TESTE COM DISPAROS DE AR	51
16.1 Teste com placa de impressão em alto relevo	52
17 ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMENTARIOS FINAIS	54
18 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXO A	57
ANEXO B	58

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem o objetivo de estudar a viabilidade física de realizar impressão Braille por um método alternativo. A tecnologia atual empregada nas impressoras possui um custo de manutenção muito elevado. Portanto, estudos de métodos que possibilitem redução do custo de aquisição e no custo de manutenção de impressoras Braille e, aumentem a acessibilidade destes equipamentos é muito importante.

O método alternativo investigado neste trabalho utiliza ar comprimido. Após obter os valores de algumas propriedades mecânicas do papel, será estimada, através de métodos numéricos e matemáticos, a pressão necessária para obter a impressão. Finalmente, um experimento atestará a pressão mínima real para conseguir o resultado desejado.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Neste capítulo estão apresentados os principais conceitos e modelos que serão empregados para calcular os parâmetros que serão necessários nos experimentos. As propriedades mecânicas do papel serão tratadas como propriedades mecânicas de metais.

2.1 Cálculo do momento de inércia

O momento de Inércia a ser calculado refere-se à área da secção transversal do papel, próximo às placas de fixação.

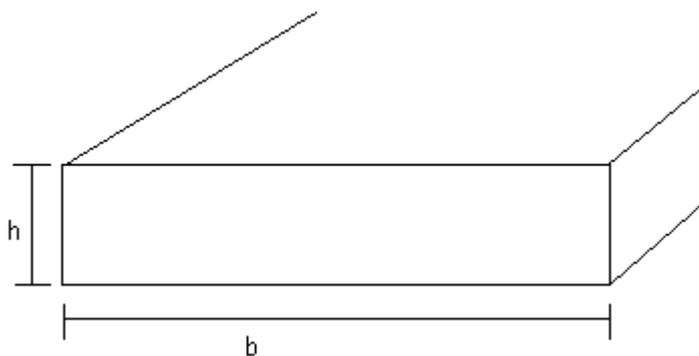


Figura 1 – Secção transversal do corpo de prova junto à fixação.

O momento de inércia desta área é:
$$I = \int_{-h/2}^{h/2} y^2 b dy = \frac{bh^3}{12} \quad (1)$$

2.2 Cálculo de σ conhecido o momento fletor

O valor de $\sigma_{\text{máx}}$ a partir do momento fletor é calculado pela fórmula:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M \times \frac{h}{2}}{I} \quad (2)$$

2.3 Relação entre força resultante e pressão

A relação entre a força F aplicada sobre uma área A, e pressão é:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3)$$

Esta relação será utilizada para criar modelos do procedimento por analogia com vasos comunicantes.

2.4 Relações para gases perfeitos

Para um gás perfeito é possível escrever as relações entre dois estados termodinâmicos distintos em processos isoentrópicos:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}} \quad (4)$$

$$\frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \quad (5)$$

Estas relações foram utilizadas para determinar a temperatura resultante do processo de compressão de ar. Elevadas temperaturas podem inviabilizar alguns procedimentos.

2. Flambagem

Se a haste de um cilindro hidráulico ou pneumático for muito comprida, ela deve ser dimensionada para que não ocorra flambagem. Para uma viga com uma extremidade engastada e a outra livre temos o seguinte valor de força P máxima para evitar o fenômeno de flambagem

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Le^2}, \quad (6)$$

nesse caso $Le = 2 \cdot L$,

onde L é o comprimento da barra, E é o módulo de elasticidade do material e I é o momento de inércia.

3 NORMA NBR 9050

A norma NBR 9050 intitulada “Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos” define parâmetros da sinalização em Braille e será usada como parâmetro de referência para um resultado satisfatório.

- **NBR 9050:** o arranjo de seis pontos e o espaçamento entre as celas Braille, conforme figura 1, devem atender às seguintes condições:

- a) diâmetro do ponto na base: 2 mm;
- b) espaçamento vertical e horizontal entre pontos – medido a partir do centro de um ponto até o centro do próximo ponto: 2,7 mm;
- c) largura da cela Braille: 4,7 mm;
- d) altura da cela Braille: 7,4 mm;
- e) separação horizontal entre as celas Braille: 6,6 mm;
- f) separação vertical entre as celas Braille: 10,8 mm;
- g) altura do ponto: 0,65 mm.

Vista superior Corte (dimensões em milímetros)

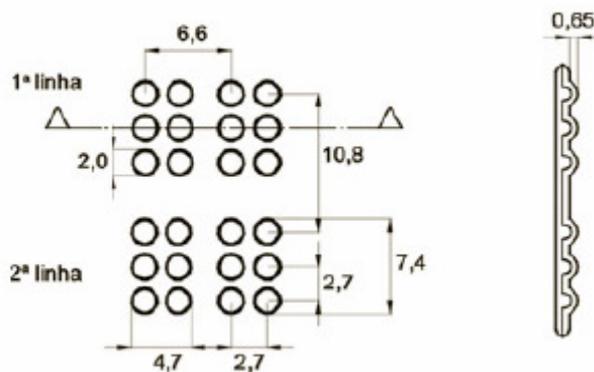


Figura 2 – Cela Braille

4 FLANGES (Ref. 7)

Flanges são conexões utilizadas em tubulações, e possuem alto grau de confiabilidade em trabalhos de alta pressão. Os tipos de flange mais comuns são:

a) Flange Integral: este tipo de flange é utilizado apenas para tubulações de ferro fundido ou plástico laminado. É o tipo mais resistente de flange. A figura 3 mostra o flange integral.

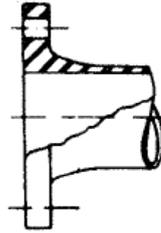


Figura 3 – Flange integral

b) Flange de pescoço (Welding Neck): é o mais resistente dos flanges não integrais, e que dá origem a menores tensões residuais devido à soldagem. Porém é mais caro, pois as extremidades dos tubos devem ser chanfradas para que a solda seja feita, e só pode ser utilizada para diâmetros maiores que 2". A figura 4 mostra o flange de pescoço.

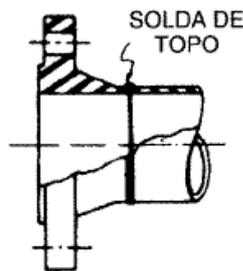


Figura 4 – Flange de pescoço

c) Flange sobreposto (slpi-on): é o mais barato. O flange é ligado ao tubo por duas soldas em ângulo, uma externa e outra interna. A figura 5 mostra o flange sobreposto.



Figura 5 – Flange sobreposto

d) Flange rosqueado (screwed): em uso industrial, é empregado apenas em materiais não soldáveis. É utilizado também para tubos de água, ar comprimido, etc. O aperto permissível desses flanges é pequeno, pois as tensões desenvolvidas são muito grandes e a rosca atua como um intensificador de tensões. A figura 6 mostra o flange rosqueado.

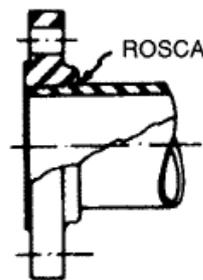


Figura 6 – Flange Rosqueado

e) Flange de encaixe (socked-weld): é usado em tubos de pequenos diâmetros, até 1.1/2". É semelhante ao flange sobreposto, porém é mais resistente. A figura 7 mostra o flange de encaixe.

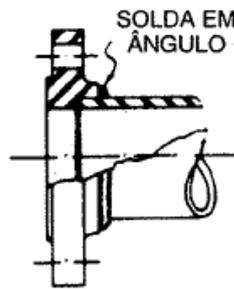


Figura 7 – Flange de encaixe

f) Flange solto (lap-joint): esses flanges também são chamados de “van-stone”. Solda-se no topo do tubo uma pestana, ou virola, que serve de batente para o flange, que fica solto da tubulação. A figura 8 mostra o flange solto.

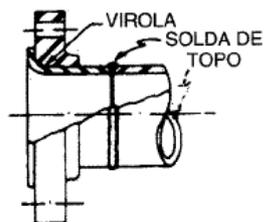


Figura 8 – Flange Solto

g) Flange cego: são flanges fechados em forma de disco. Usados para finais de linha ou fechamento de flanges. A figura 9 mostra o flange cego.



Figura 9 – Flange cego

5 VÁLVULAS (Ref. 7)

Válvulas são dispositivos que visam interromper ou controlar o fluxo em um escoamento de uma tubulação.

5.1 Construção das válvulas

A carcaça de uma válvula é composta pelo corpo e pelo castelo. O corpo é a parte principal, onde se localizam as sedes, onde se assenta a peça de fechamento e as extremidades para ligações com a tubulação. O castelo é a parte superior da válvula, para ter acesso interior da válvula o castelo é desmontado.

5.1.1 Tipos de fixação do castelo ao corpo de válvula

- a) Castelo rosqueado ao corpo (screwed bonet): é a fixação mais barata, porém só pode ser utilizado em serviços de baixa responsabilidade. A norma ASME B31.1 veta o seu uso em processos com pressão maior que 1,7MPa para tubulações de vapor.
- b) Castelo preso ao corpo por uma porca solta de união (union bonet): adequado para tubulações com pequeno diâmetro e altas pressões.
- c) Castelo aparafusado (bolted union): sistema para válvulas com bitola grande (acima de 3”), por ser mais robusto e permitir melhor vedação, pode ser usado para qualquer classe de pressão.

5.1.2 Extremidades das válvulas

O tipo de extremidade da válvula determina a conexão dela com a tubulação.

- a) Extremidades flangeadas: empregadas para tubos maiores que 2”. Para ferro fundido os flanges são sempre de face plana, para aço o flange são de face com ressalto ou junta com anel.
- b) Extremidades por solda e encaixe: para tubos menores que 2”. Para evitar soldas dissimilares, o corpo da válvula deve ser do mesmo material que a tubulação.

c) Extremidades rosqueadas: utilizada em tubulações com diâmetro menores que 4".

d) Extremidades para solda de topo: sistema para tubos maiores que 2". Onde é necessário segurança absoluta contra vazamentos.

5.2 Acionamento das válvulas

As válvulas pode ser operadas e acionadas por diversos meios distintos.

- a) Operação manual:
 - Por meio de volante.
 - Por meio de alavanca.
 - Por meio de engrenagens.
 - Por meio de parafuso sem fim.

- b) Operação motorizada:
 - Pneumática.
 - Hidráulica.
 - Elétrica.

- c) Operação automática:
 - Por diferença de pressões do próprio escoamento.
 - Por molas ou contra pesos.

5.3 Classificação da válvula

Existe uma grande variedade de tipos de válvulas. Elas podem ser classificadas quanto a sua construção e finalidade.

Podemos classificar uma válvula como:

- Válvula de bloqueio
- Válvula de regulação
- Válvula que permite o fluxo em um só sentido
- Válvula que controla a pressão a montante

5.3.1 Válvulas de bloqueio

As válvulas de bloqueio são aquelas que se destinam a estabelecer ou interromper o fluxo, só operam totalmente fechadas ou totalmente abertas. Este tipo de válvula,

geralmente, possui o mesmo diâmetro nominal da tubulação, diminuindo a perda de carga.

As válvulas de bloqueio podem ser:

- válvulas de gaveta (gate valves)
- válvulas de macho (plug, cock valves)
- válvulas de esfera (ball valves)
- válvulas de comporta (slide, blast valves)
- outros.

Válvulas gaveta

São válvulas de bloqueio de líquidos, ou em processos de vapor e ar para tubos com diâmetro maior que 8". Pode ser utilizada para qualquer diâmetro, temperatura e pressão.

O fechamento dessa válvula é feito pelo movimento da peça denominada gaveta, ou cunha. A figura 10 mostra uma válvula gaveta aberta.

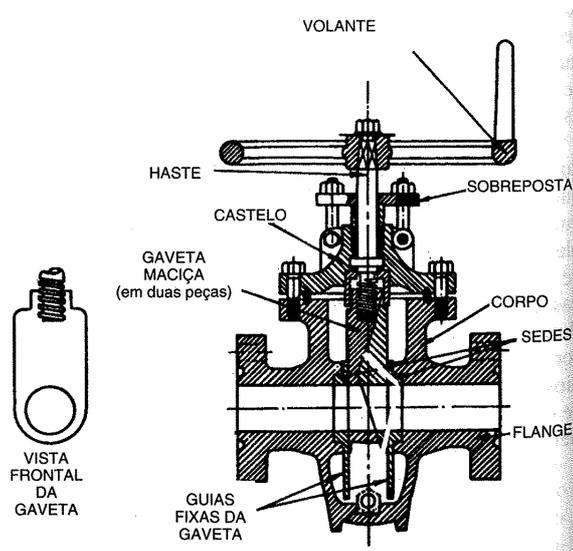


Figura.10 – Válvula gaveta

Válvulas de macho

Aplicadas principalmente para bloqueio de gases, e recomendadas para processos onde o escoamento deixe sedimentos ou sólidos em suspensão.

Nesse tipo de válvula o fechamento é feito pela rotação da peça macho, onde há um orifício broqueado, no interior do corpo da válvula. A figura 11 mostra uma válvula de macho.

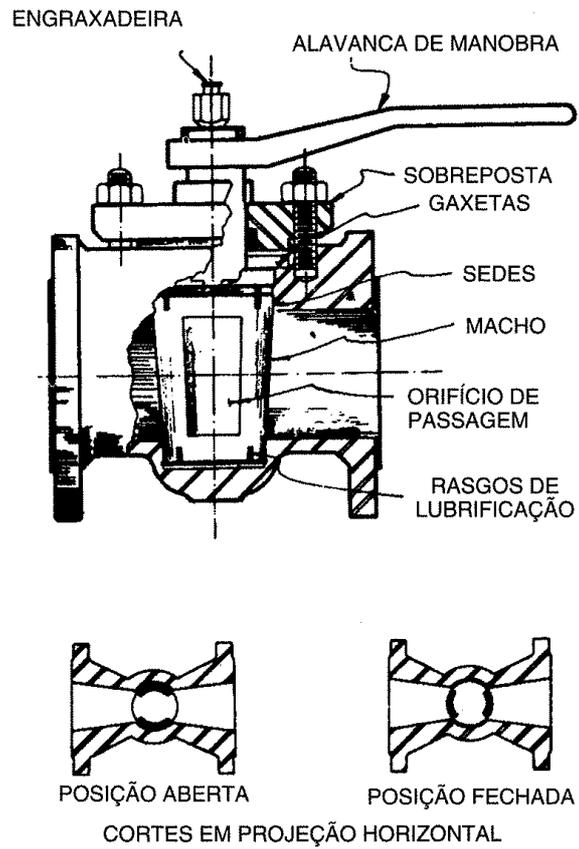


Figura 11 – Válvula macho

5.3.2 Válvulas de regulagem

São válvulas que possuem não só as posições totalmente abertas ou totalmente fechadas, como também posições intermediárias. Permitindo assim o controle de vazão do fluido. A figura 12 mostra uma válvula globo de regulagem.

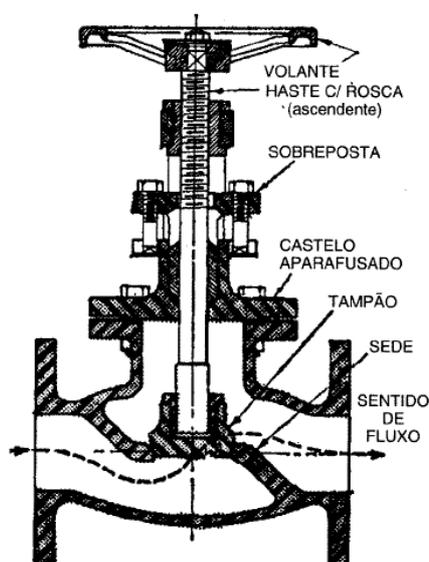


Figura12 – Válvula Globo de regulagem

5.3.3 Válvulas que permitem o fluxo em um só sentido

São chamadas de válvulas de retenção. Impedem o fluxo no sentido contrário pela diferença de pressão causadas pelo fluido se houver tendência de inversão do sentido do escoamento. Portanto, são válvulas de operação automática. A figura13 mostra uma válvula de retenção.

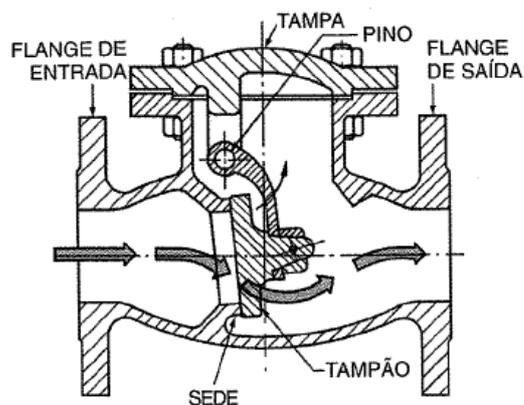


Figura13 - Válvula de retenção de portinhola

5.3.4 Válvula que controla a pressão a montante

São válvulas que se abrem automaticamente quando a pressão é excedida. São válvulas de segurança. A figura14 mostra uma válvula de segurança.

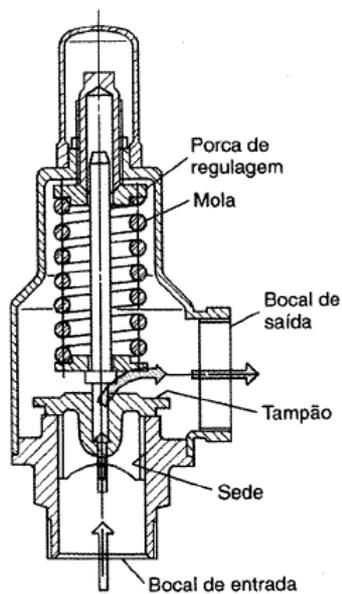


Figura 14 – Válvula de segurança

6 DADOS DO PAPEL

As propriedades mecânicas do papel sofrem grande influência dos parâmetros de espessura e gramatura. Alguns destes parâmetros serão estimados por experimentos neste trabalho.

6.1 Largura e comprimento

A folha de papel fornecida pela Fundação DORINA NOWILL, como o tipo de papel normalmente utilizado para impressão Braille possui 21cm de largura e 29,7cm de comprimento, formato A4.

6.2 Espessura

A espessura h do papel foi estimada com a medição de uma amostra de 20 folhas e com um paquímetro,

$$h_{20} = 3,1mm$$
$$h = \frac{h_{20}}{20} = 0,155mm$$

6.3 Gramatura

A massa de uma amostra de 20 folhas foi determinada utilizando uma balança com erro de 0,01g

Foi obtido o valor de 155,71g para a amostra.

Assim determinamos a gramatura do papel utilizado no estudo.

$$\text{Área} = 20 \times 0,21 \times 0,297 \text{ m}^2$$

$$\text{Gramatura} = \frac{\text{Massa}}{\text{Área}} = 124,83 \text{ g/m}^2$$

7 EXPERIÊNCIA – MÓDULO DE ELASTICIDADE E MOMENTO FLETOR

7.1 Objetivo

Determinar o momento fletor mínimo necessário para haver deformação plástica em um corpo de prova conhecido. Realizar deformações em regime elástico afim de determinar o módulo de elasticidade do papel em experimento e a tensão de limite elástico.

7.2 Materiais necessários:

- Massas de teste (uma moeda de R\$0,25 foi utilizada como massa extra)
- Recipiente
- Corpo de prova
- Linha
- Câmera fotográfica
- Fita adesiva

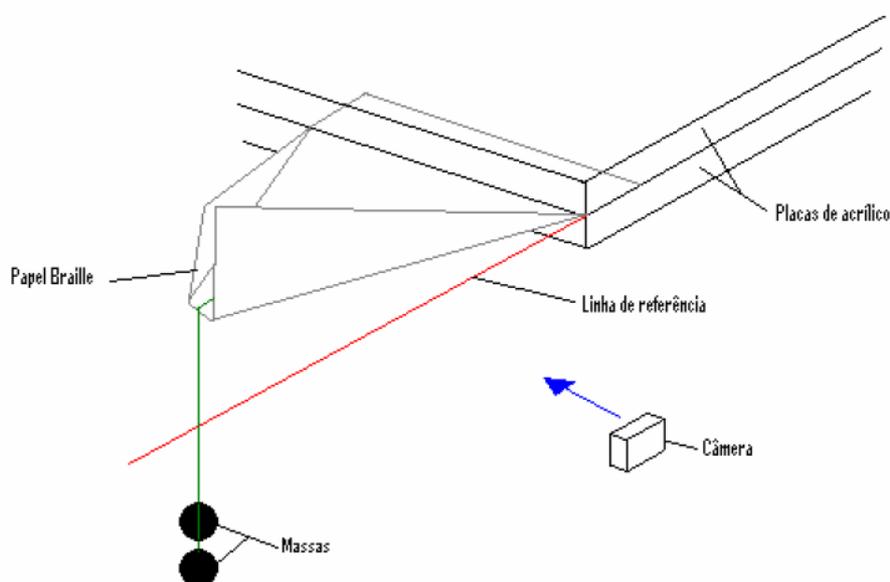


Figura 15 - Esquema físico da experiência

7.3 Massas de teste

As massas de teste possuem a massa de 0,695, erro de 0,01 mg.

7.4 Recipiente

O recipiente onde foram colocadas as massas de teste possui a massa de 2,3074, erro de 0,01mg. O peso deste faz parte da força que compõe o momento fletor.

7.5 Corpo de prova

É formado por 3 triângulos, um forma a base e outros dois formam as abas laterais, as abas laterais devem ser perpendiculares à base. Esta disposição tem o objetivo de tornar o comportamento de parte do corpo de prova como corpo rígido.

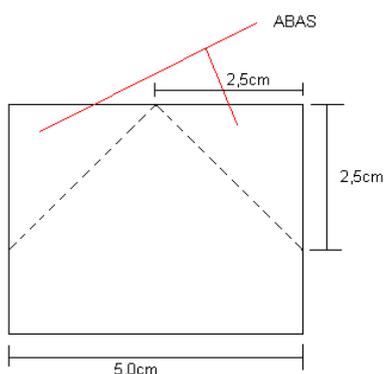


Figura 16 - Corpo de prova

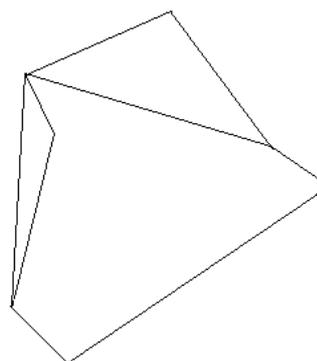


Figura 17 – Corpo de prova dobrado

7.6 Linha e fita adesiva

A densidade linear da linha é desprezível e o módulo de elasticidade é muito alto, e a massa da fita adesiva é insignificante. Portanto, a influência da linha e da fita adesiva nos resultados da experiência é irrelevante.

7.7 Procedimento

- 1- Fixar uma ponta da linha no corpo de prova e a outra ponta no recipiente, com fita adesiva.
- 2- Fixar o corpo de prova entre as placas de acrílico, com fita adesiva.
- 3- Fixar as placas firmemente, com fita adesiva. E fixá-las em uma base
- 4- Posicionar a câmera fotográfica na mesma altura do plano formado pelas placas.
- 5- Adicionar as massas uma a uma e fotografar os resultados.

7.8 Momento fletor

O momento fletor aplicado no corpo de prova é a somatória dos momentos dos pesos.

Os momentos atuantes são:

- Momentos devido ao peso das abas esquerda e direita
- Momento gerado pelo peso corpo de base
- Momento imposto pelo peso das massas de teste

7.8.1 Cálculo do momento fletor no corpo de prova

Sabendo gramatura do papel e a área de cada parte a ser estudada, temos a massa do corpo de base e das abas.

$$Massa = Gramatura \times \text{Área}$$

Para uma aceleração gravitacional g de $9,8\text{m/s}^2$ temos os pesos.

$$Peso = Massa \times g$$

7.8.2 Cálculo do braço do momento fletor

O braço do momento aplicado pelas massas de teste ht é de 2,5cm.

O braço do momento aplicado ao corpo de prova pode ser determinado utilizando o conceito de centro de massa. O centro de massa dos triângulos se situa a um terço da altura, a partir da base. Porém, o braço está em uma direção perpendicular ao peso aplicado, portanto para as abas o braço ha é facilmente definido utilizando conceitos geométricos básicos.

A figura 18 mostra os braços.

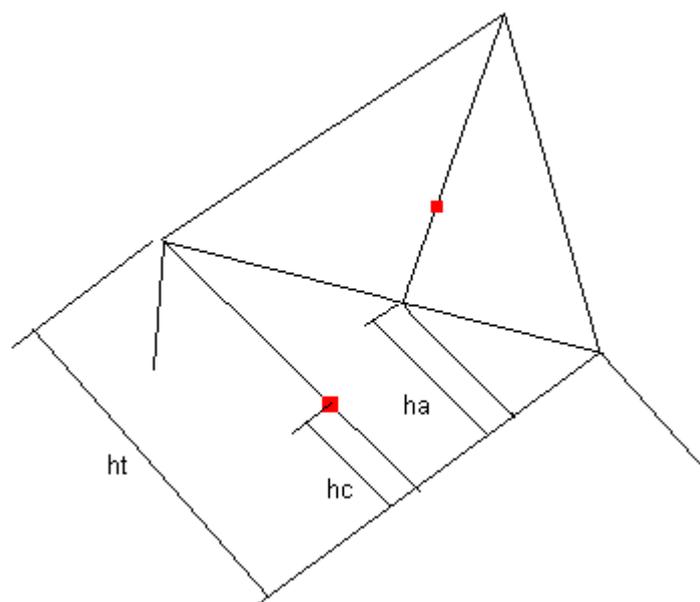


Figura 18 – braços do momento aplicados ao corpo de prova

7.9 momento de inércia

Para o corpo de prova: $I = 7,5807E^{-15} \text{ m}^4$

7.10 Tensão máxima para regime elástico

Através do momento fletor mínimo para haver deformação plástica obtido na experiência conseguimos o valor da tensão máxima para regime elástico. Este valor permitirá analisar resultados de testes de elementos finitos e definir a pressão necessária para imprimir um ponto Braille.

8 WINFELT – O PROCESSADOR DE ELEMENTOS FINITOS

Um processador de elementos finitos foi utilizado para a determinação das tensões, reações, e deslocamentos do papel quando submetido a pressões. Conhecido a tensão que define o limite elástico, através de um modelo de elementos finitos podemos conhecer a pressão do ar comprimido necessária para provocar uma deformação plástica no papel.

8.1 Simulações realizadas

8.1.1 Módulo de elasticidade

Para estimar o módulo de elasticidade simulamos um carregamento nos elementos abaixo:

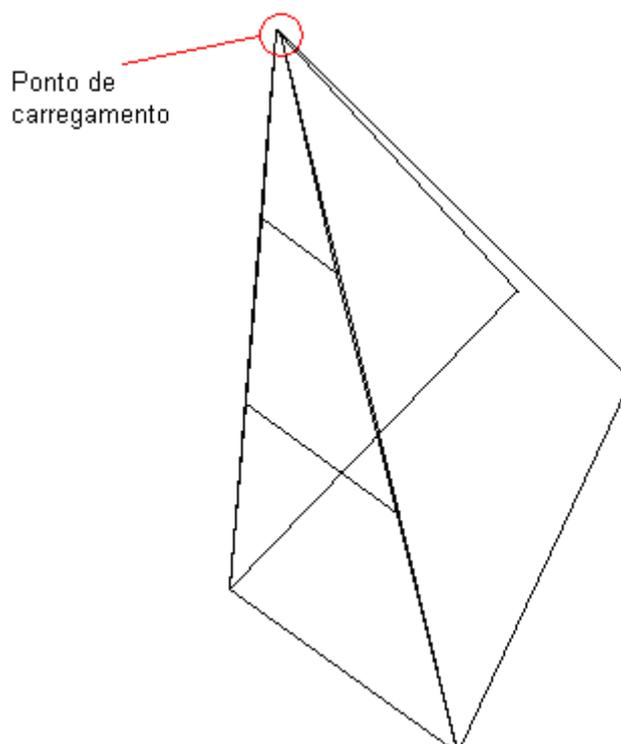


Figura 19 - Modelo com cinco elementos do corpo de prova

Os cinco elementos formam um modelo muito próximo do real, corpo de prova da experiência. O carregamento na ponta da base gera um momento fletor equivalente à somatória dos momentos existentes na experiência com a quantidade de 10 massas de teste, uma moeda de R\$0,25, e o recipiente.

Pela foto tirada com o carregamento de 10 massas de teste nos fornece o deslocamento vertical da extremidade do corpo.

Para obter a estimativa do valor do módulo de elasticidade, no Winfelt colocamos o carregamento equivalente na extremidade dos elementos, simulando a experiência. Variamos o módulo de elasticidade até obter um deslocamento vertical igual ao observado na experiência.

8.1.2 Pressão mínima

Com o intuito de definir a pressão ideal do jato de ar para conseguir a impressão do papel em alto relevo, utilizamos uma malha de elementos finitos quadrados, conforme a fig. 20. Todos os pontos externos, denotados por pontos em vermelho na fig. 21, são fixos, não possuem translação nem rotação.

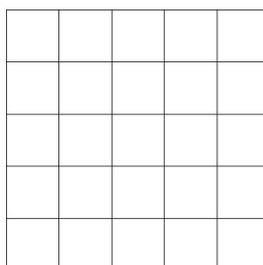


Figura 20 – Malha para determinação da pressão mínima.

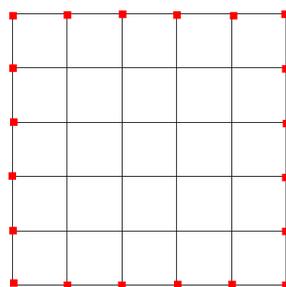


Figura 21 - Pontos externos, em vermelho, são engastados.

Os pontos intermediários, denotados por pontos azuis na fig. 22, possuem liberdade de movimento no plano xy e a rotação em torno dos eixos é permitida. Os pontos centrais são totalmente livres, movimentação e rotação em todos os eixos.

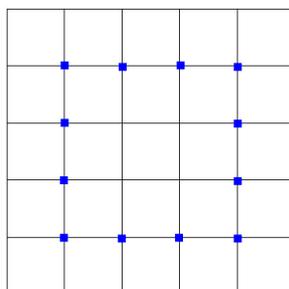


Figura 22 - Pontos intermediários marcados

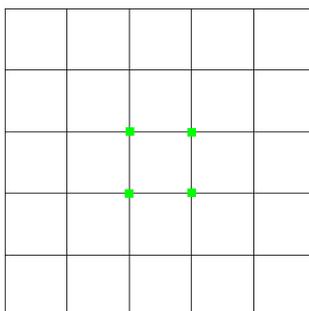


Figura 23- Pontos centrais marcados

Quatro forças de igual valor foram colocadas nos quatro pontos que formam o elemento central, elas possuem o mesmo valor, e simulam uma pressão atuando sobre a área delimitada pela região verde na fig. 24.

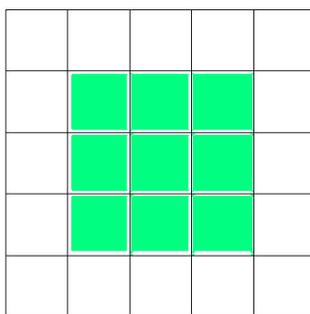


Figura 24 - Área sobre pressão

O objetivo do carregamento é formar um alto relevo com altura de 0,65mm, definido pela norma NBR 9050. Para atingir o resultado uma simulação foi realizada.

A simulação define, por tentativa e erro, o carregamento mínimo necessário para provocar deformação plástica.

9 RESULTADOS DO WINFELT

9.1 Momento fletor mínimo para deformação plástica

Observou-se deformação plástica da papel quando a carga aplicada foi a soma das cargas de 13 massas de teste, uma moeda de R\$0,25 e o recipiente para as massas de teste. A massa necessária para causar uma deformação plástica foi de 16.0854 g, conforme a Tabela 3 e deformação permanente mostrada na fig. 26. A fig. 25 mostra o corpo de prova sob carregamento nulo e deformação permanente nula.

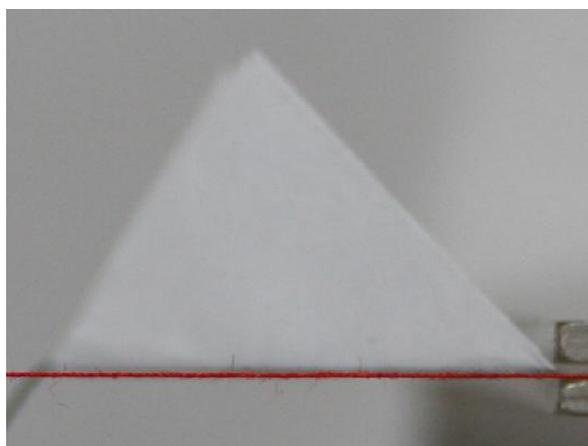


Figura 25 – Carregamento nulo e deformação plástica nula.

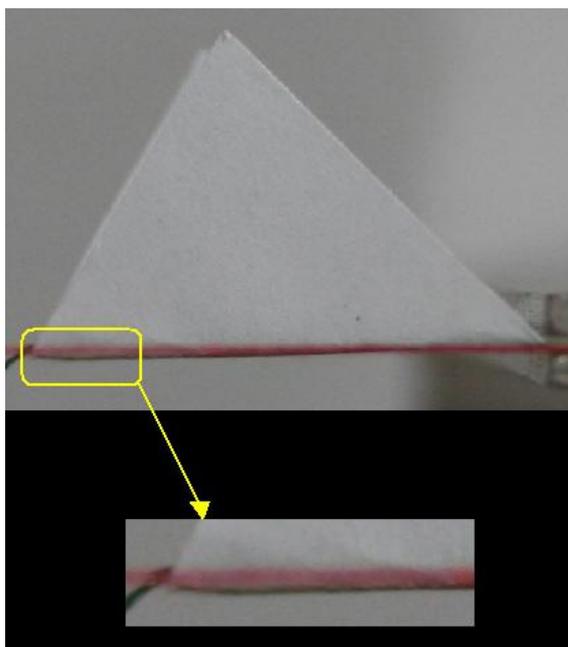


Figura 26 – Deformação plástica no corpo de prova.

Tabela 1 - Massas de cada elemento

Gramatura	124,827641 g/m ²
Massa da moeda	4,743 g
Massa do chumbo	0,695 g
Frasco	2,3074 g

Tabela 2 – Área dos componentes do corpo de prova

A1 (corpo de base)	0,000625 m ²
A2 (aba esquerda)	0,0003125 m ²
A3 (aba direita)	0,0003125 m ²

Tabela 3 – Massas

m1 (corpo de base)	0,078017 g
m2 (aba esquerda)	0,039009 g
m3 (aba direita)	0,039009 g
Massa teste total	16,0854 g

Tabela 4 – braços do momento

hc	0,0083333333 m
ha	0,0125 m
ha	0,0125 m
ht	0,025 m

Assim podemos calcular o momento fletor mínimo que causa deformação plástica.

Calculam-se com esses dados o momento total.

Tabela 5 – Momentos aplicados

M1	6,41692E-06 N*m
M2	4,81269E-06 N*m
M3	4,81269E-06 N*m
Mteste	0,003969072 N*m
M total	0,003985115 N*m

Obtido o momento total aplicado, obtemos o $\sigma_{\text{máx}}$ em regime elástico através da eq. 3. A tensão mínima que provoca deformação permanente resulta,

$$\sigma_{\text{máx}} = 39809679,11 \text{ N/m}^2 = 39,81 \text{ MPa.}$$

9. Determinação do Módulo de elasticidade

9.2.1 Deslocamento para determinação do módulo de elasticidade

Com o carregamento de 16,0854 g o deslocamento foi de 0,006896 m. O deslocamento foi calculado a partir de dados experimentais, conforme a figura 27.

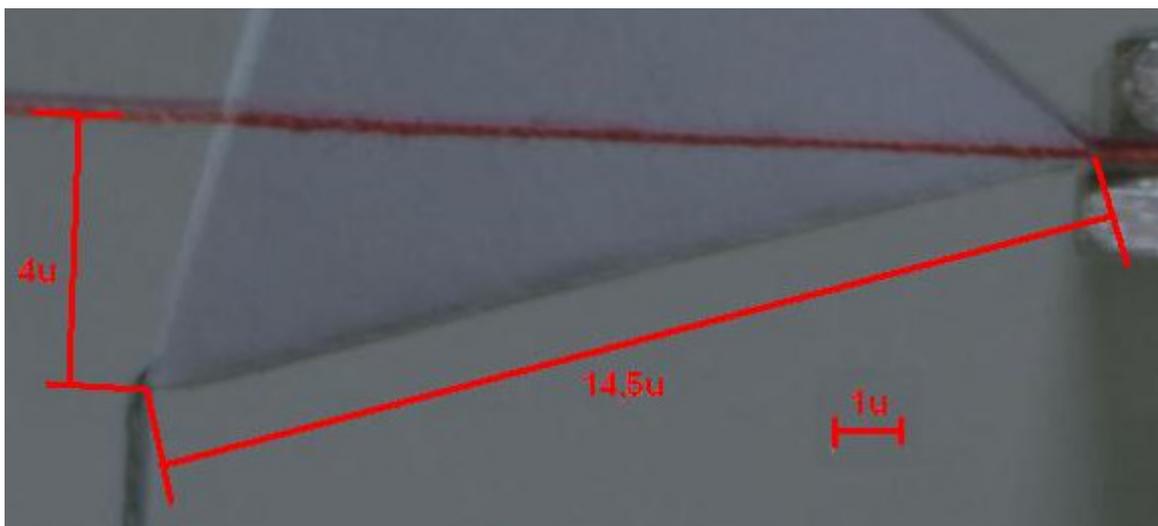


Figura 27 – Deslocamento causado por um peso teste

A unidade u é uma unidade criada para a obtenção do deslocamento. Sendo que $1u=0,001724m$, ou seja $14,5u = 2,5 \text{ cm}$. Considerando o alongamento do corpo de prova desprezível.

9.2.2 Momento fletor e força equivalente

O momento fletor para esse carregamento é: $M_t = 0,00347 \text{ N}\cdot\text{m}^2$

A força equivalente a ser aplicada no extremo do corpo para se obter o mesmo momento é:

$$F = 0,13882 \text{ N}$$

9.2.3 Determinação do módulo de elasticidade via MEF

Simulando o modelo com módulo de elasticidade $E=2,6\text{GPa}$ obtemos deslocamento semelhante, conforme a fig. 28 e resultados descritos nas tabelas 6 e 7. Portanto, uma vez que o modelo de elementos finitos possui a mesma largura e a mesma espessura que o corpo de prova e que o momento fletor no modelo de elementos finitos é igual ao aplicado ao corpo de prova, estima-se que o módulo de elasticidade é $E= 2,6 \text{ Gpa}$.

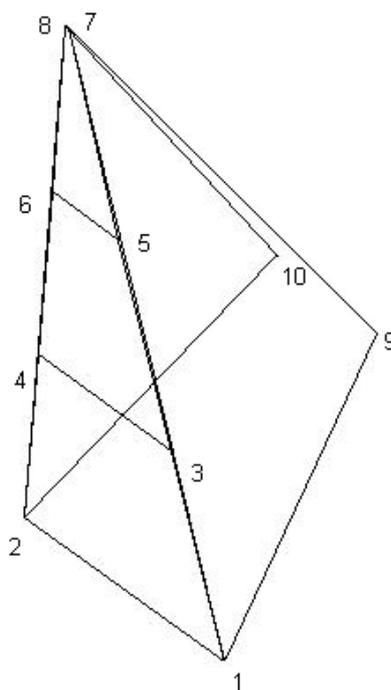


Figura 28 - Modelo utilizado

Tabela 6- Deslocamentos

Nó	Tx	Ty	Tz (m)	Rx	Ry	Rz
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	-0.00097978	-0.17197	0.0548	0
4	0	0	-0.00048598	-0.18092	-0.07854	0
5	0	0	-0.0032641	-0.35579	0.02081	0
6	0	0	-0.0026675	-0.36737	-0.084652	0
7	0	0	-0.0068903	-0.54091	-0.058185	0
8	0	0	-0.0066693	-0.5432	-0.063768	0
9	0	0	-0.00377	-0.27982	-0.027383	0
10	0	0	-0.0030893	-0.28152	-0.027212	0
11	0	0	-0.0038612	-0.27419	-0.031967	0
12	0	0	-0.0029203	-0.27245	-0.031546	0

* onde T representa translação e R representa rotação.

Tabela 7- Tensões

Elemento	Mxx	Myy	Mxy	qx	qy
1	0.031038	0.13862	-0.0031223	-59.775	0.072018
2	0.011876	0.13924	-0.0046358	-9.351	-2,07E-05
3	0.0012122	0.13129	-0.0067891	-20.871	0.99385
4	0.029676	0.031639	0.030654	-5,59E-05	-4,38E-05
5	0.037247	0.036583	-0.036913	-9,89E-04	9,62E-04

9. Pressão Mínima

A pressão mínima necessária para causar uma deformação permanente no papel foi avaliada utilizando o modelo de malhas quadradas, mostrado na fig. 29, observe a numeração dos nós. A numeração dos elementos finitos encontra-se na fig. 30.

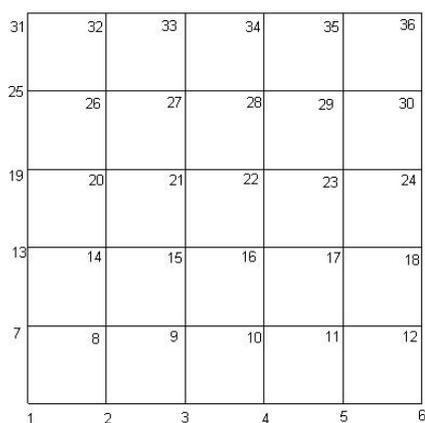


Figura 29 – Numeração dos Nós

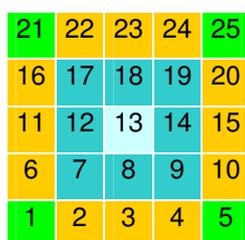


Figura 30 – Numeração dos elementos

As forças foram aplicadas sobre os pontos 15, 16, 21, e 22, cada uma com o valor de 10.45 N na direção perpendicular ao plano. Portanto, a pressão aplicada é

$$P = \frac{\sum F}{Área} = \frac{4 \times 10.45}{9} = 4,64 MPa. \text{ A tabela 8 mostra os deslocamentos e as rotações de}$$

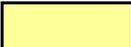
cada nó. E a tabela 9 mostra os esforços no contorno de cada elementos finitos quadrilátero.

Tabela 8 – Deslocamentos

Nó	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0
8	0	0	0	0.021389	-0.021389	0
9	0	0	0	-0.12959	0.065127	0
10	0	0	0	-0.12959	-0.065127	0
11	0	0	0	0.021389	0.021389	0
12	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0
14	0	0	0	-0.065127	0.12959	0
15	0	0	-0.0006559	-10.597	10.597	0
16	0	0	-0.0006559	-1,06E+04	-1,06E+04	0
17	0	0	0	-0.065127	-0.12959	0
18	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0
20	0	0	0	0.065127	0.12959	0
21	0	0	-0.0006559	10.597	10.597	0
22	0	0	-0.0006559	1,06E+04	-1,06E+04	0
23	0	0	0	0.065127	-0.12959	0

24	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0,00E+00	0,00E+00	0
26	0	0	0	-0.021389	-0.021389	0
27	0	0	0	0.12959	0.065127	0
28	0	0	0	0.12959	-0.065127	0
29	01	0	0	-0.021389	0.021389	0
30	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0

Legenda:

 Nós Fixos

 Nós livres no plano e sem restrições de rotação

 Nós totalmente livres - Carregamento

* onde T representa translação e R representa rotação

Tabela 9 – Tensões nos elementos

Elemento	Mxx	Myy	Mxy	qx	qy
1:	-0.012327	-0.012327	-0.0066375	-690.69	-690.69
2:	0.052745	0.059475	0.030213	3494.1	1412.4
3:	-0.023273	0.097579	9.148e-17	8369.6	1.3444e-12
4:	0.052745	0.059475	-0.030213	3494.1	-1412.4
5:	-0.012327	-0.012327	0.0066375	-690.69	690.69
6:	0.059475	0.052745	0.030213	1412.4	3494.1
7:	0.58592	0.58592	0.35551	-2541.8	-2541.8
8:	-0.74994	0.5255	-1.1934e-16	-7908.2	7.1702e-12
9:	0.58592	0.58592	-0.35551	-2541.8	2541.8
10:	0.059475	0.052745	-0.030213	1412.4	-3494.1

11:	0.097579	-0.023273	-8.2128e-17	-1.5685e-11	8369.6
12:	0.5255	-0.74994	4.3305e-16	-8.0665e-12	-7908.2
13:	-2.443	-2.443	-2.252e-16	-1.434e-11	-1.434e-11
14:	0.5255	-0.74994	-1.468e-16	-7.1702e-12	7908.2
15:	0.097579	-0.023273	1.2248e-17	6.2739e-12	-8369.6
16:	0.059475	0.052745	-0.030213	-1412.4	3494.1
17:	0.58592	0.58592	-0.35551	2541.8	-2541.8
18:	-0.74994	0.5255	-1.0329e-16	7908.2	-7.1702e-12
19:	0.58592	0.58592	0.35551	2541.8	2541.8
20:	0.059475	0.052745	0.030213	-1412.4	-3494.1
21:	-0.012327	-0.012327	0.0066375	690.69	-690.69
22:	0.052745	0.059475	-0.030213	-3494.1	1412.4
23:	-0.023273	0.097579	-1.0363e-16	-8369.6	0
24:	0.052745	0.059475	0.030213	-3494.1	-1412.4
25:	-0.012327	-0.012327	-0.0066375	690.69	690.69

9. Gráficos de momento fletor e forças cortantes

As figuras 31 e 33 são gráficos de contorno que representam, respectivamente, a distribuição de momento fletor em torno do eixo x, M_{xx} , e o momento fletor em torno do eixo y, M_{yy} .

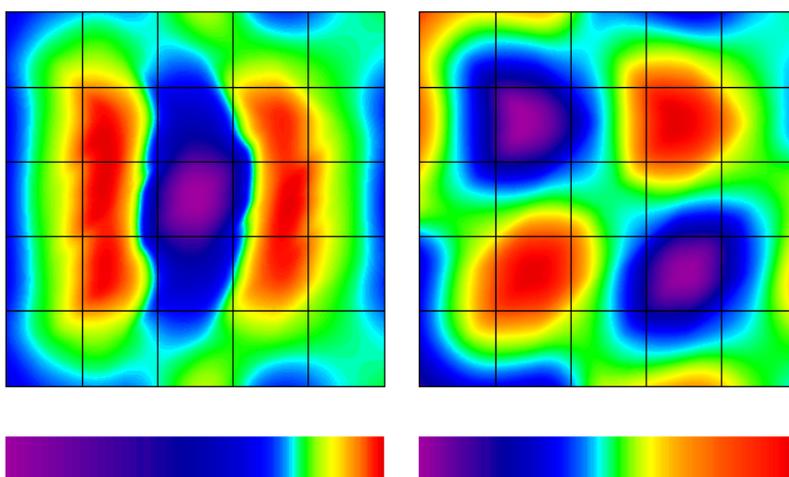


Figura 31 – M_{xx}

Figura 32 – M_{xy}

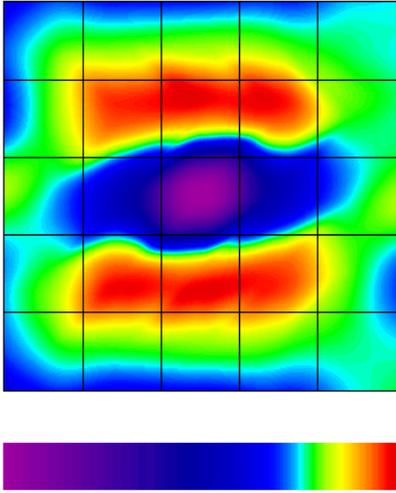


Figura 33- Myy

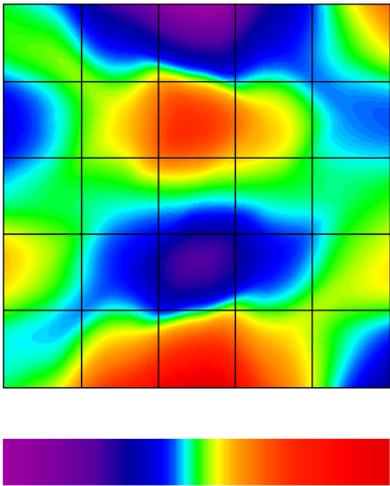


Figura 34 – Gráfico q_x

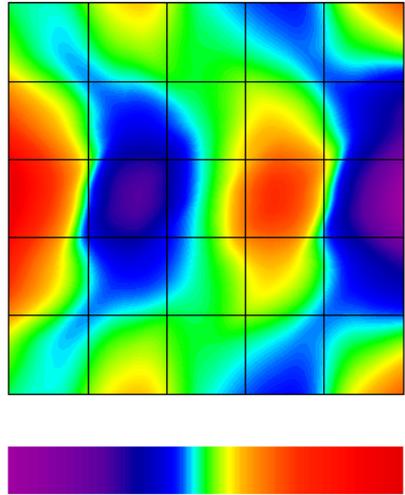


Figura 35 – Gráfico q_y

10 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO WINFELT

Em papéis de gramatura e espessura menores o módulo de elasticidade é em média igual a 2GPa, conforme a tabela 10 mostra as diferentes propriedades de papéis de fibra de eucalipto para diferentes gramaturas e espessuras, segundo Mendes 2006.

Tabela 10- Módulo de elasticidade para diferentes gramaturas e espessuras (Mendes, 2006)

Gramatura (g/m^2)	79,3	81,6	76,2	75,6
Espessura (μm)	122	122	145	130
Módulo de elasticidade (GPa)	2,37	2,92	1,47	1,90

O módulo de elasticidade não depende apenas da gramatura e da espessura, porém a tabela mostra valores de referência. Portanto o valor de 2,6GPa estimado experimentalmente para o módulo de elasticidade neste estudo é consistente com os dados deste autor. Para obter a tensão de limite elástico, 39,81MPa, é necessária uma pressão de 210 Bar, no modelo de elementos finitos.

11 ANÁLISE PELO SOLIDWORKS

11.1 Modelo Simulado

A malha do modelo de elementos finitos processado no SolidWorks possui mais de mil elementos. A largura do modelo é de 1,35mm, metade da distância padronizada entre um ponto e outro na cela Braille, conforme mostrado na fig. 36.

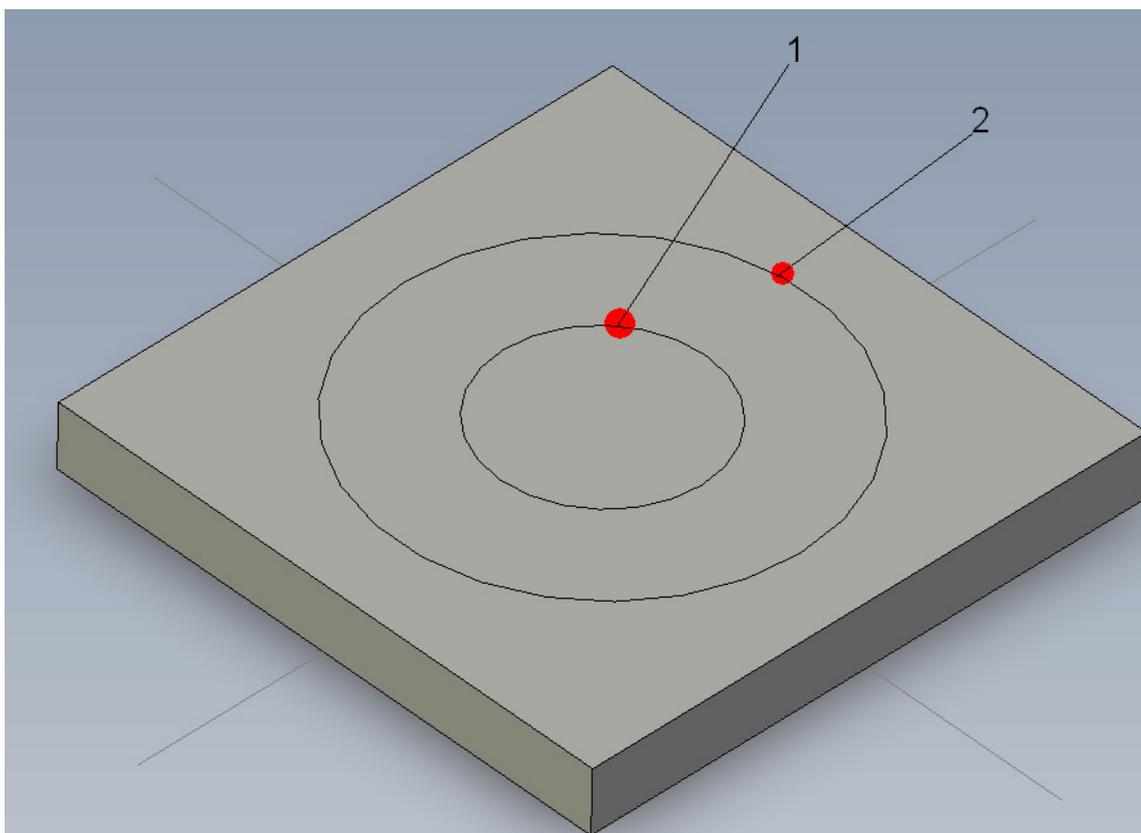


Figura 36 – Modelo em Solid Works

O círculo 1 delimita a área onde a pressão será aplicada pelo software, esta área possui diâmetro de 0,5mm. O círculo 2 possui 1mm de diâmetro e define área passível de deformação pela aplicação da pressão do ar comprimido.

11.2 Condições de Contorno

Todas as faces laterais foram engastadas. A superfície externa ao círculo 2 tem livre movimento no plano da superfície, e internamente tem livre movimento em todas as direções. Uma pressão uniforme vertical é aplicada na região interna ao círculo 1.

12 RESULTADOS DO SOLIDWORKS

Para determinar a pressão mínima necessária para se obter deformação plástica do papel a análise dos resultados acompanhou a tensão sobre o contorno do círculo 2. Quando a tensão nesta região ultrapassar o limite elástico, passa a ocorrer deformação plástica nessa região e é possível dizer que a impressão em alto relevo terá ocorrido.

12.1 Pressão Mínima

A pressão mínima determinada pelas simulações foi de **21MPa**, aproximadamente 210 atm, aproximadamente 3100 Psi, conforme documentado nas figuras 37 e 38.

As figuras 37 e 38 representam as tensões e o deslocamento obtidos, respectivamente.

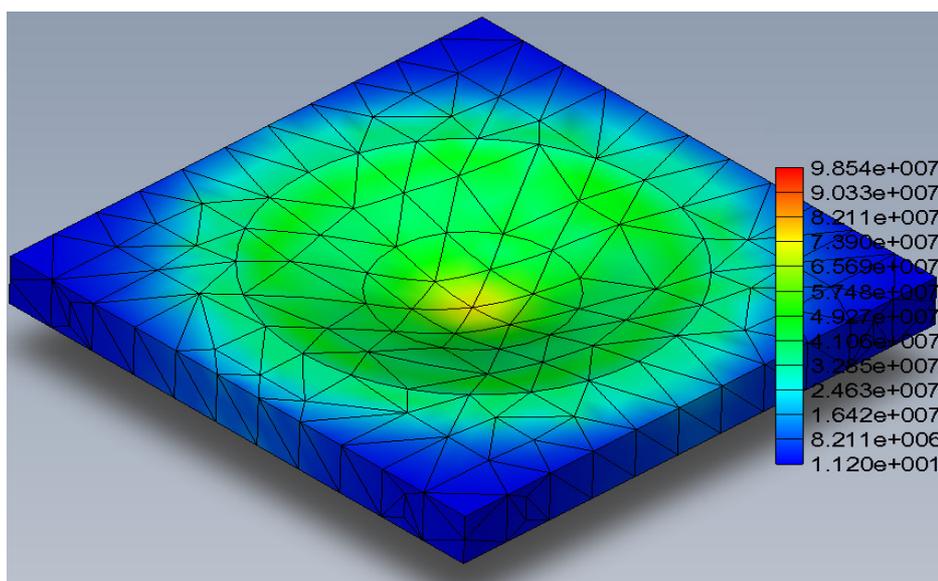


Figura 37 – Tensão de Von Mises

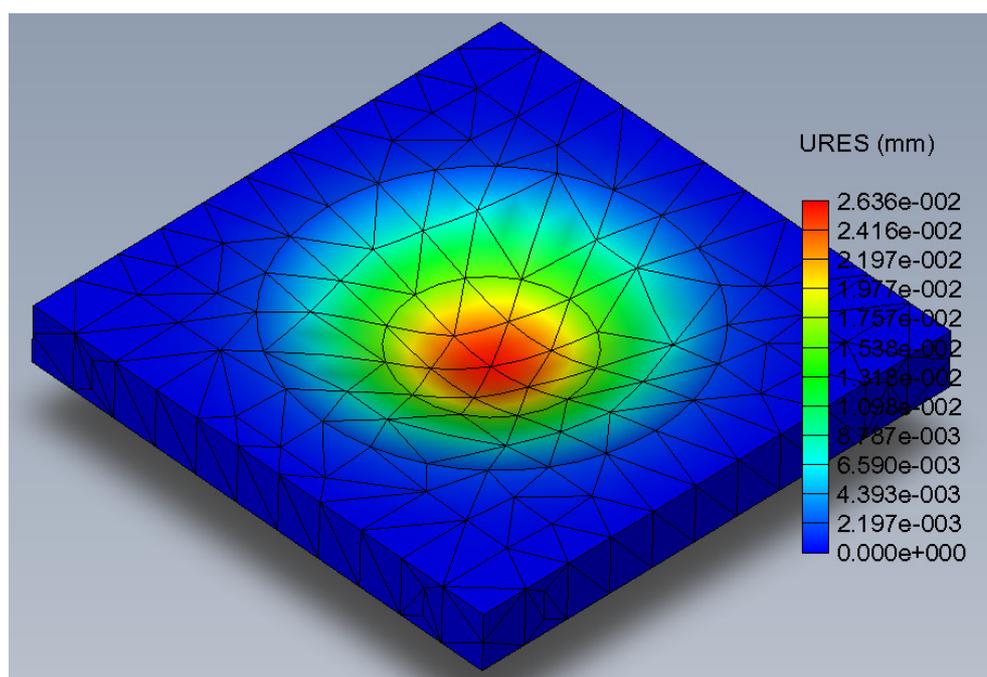


Figura 38 – Deslocamento vertical

13 TESTE DE PRESSÃO ESTÁTICA

Pelas análises em elementos finitos foi determinada uma pressão de 3100Psi para que seja possível obter a deformação no papel braille. Para que este resultado seja comprovado, um experimento pode ser realizado. O experimento consiste em colocar o papel braille sobre uma placa de alumínio com um orifício e aplicar pressão com ar comprimido na parte superior do papel. Este experimento atestaria a pressão necessária para obter a deformação do papel. A figura39 abaixo representa o teste.

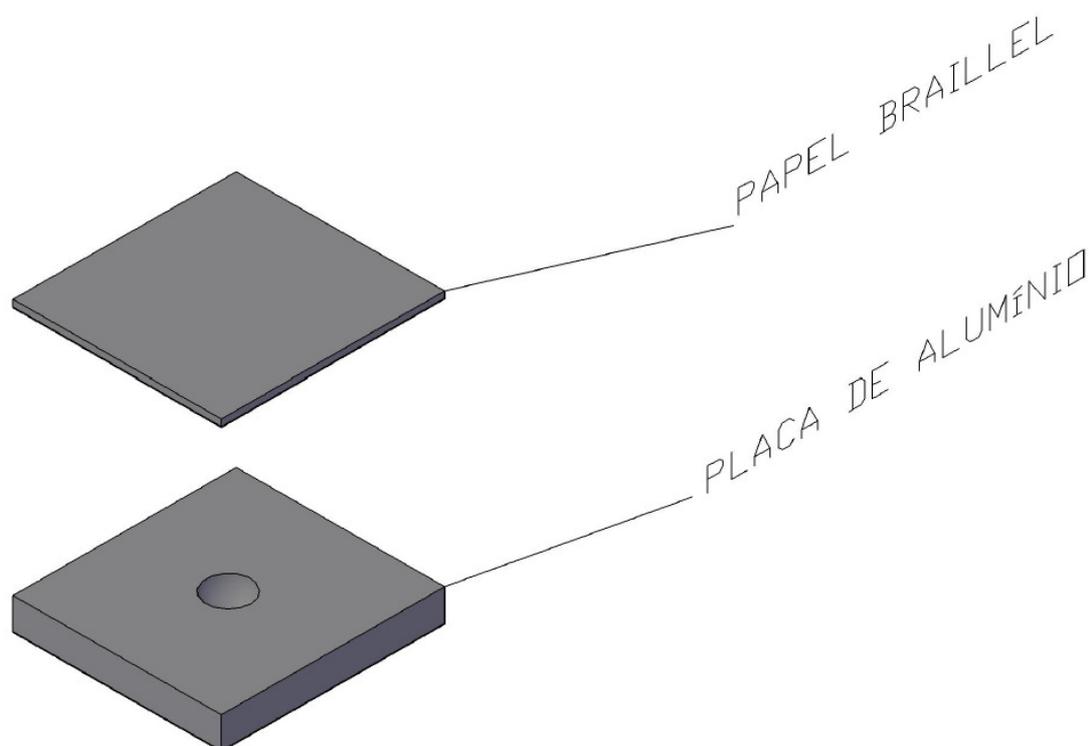


Figura 39 – Papel e placa para experimento de pressão estática

14 FORMAS DE OBTER A PRESSÃO PARA TESTE

A pressão de 210 bar, aproximadamente 3100Psi, é uma pressão estática necessária para que a impressão seja realizada. Para atingir a alta pressão requerida dois métodos foram idealizados. Em um o ar deve ser comprimido em um cilindro até a pressão desejada, em outro um vaso de pressão é utilizado para armazenar ar à 3100Psi.

14.1 Compressão de ar

O objetivo deste método é atingir a pressão de 3100Psi com equipamentos simples e de baixo custo. Os materiais usados seriam tubos e conexões facilmente encontrados no mercado. Utilizando um cilindro e um êmbolo seria possível comprimir ar até a pressão de 3100Psi. A figura 40 mostra o cilindro de pressão.

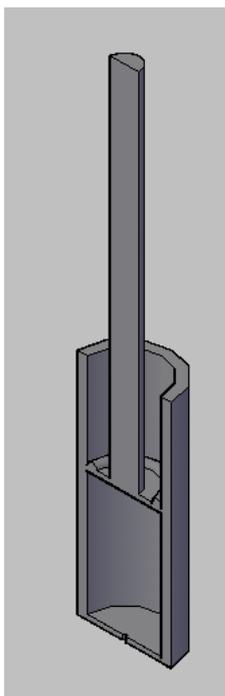


Figura 40 – Cilindro de pressão

Porém, a força necessária para mover o êmbolo até a posição necessária é muito grande. Então um sistema de vasos comunicantes seria uma solução para contornar este problema.

A figura 41 mostra o esquema da solução.

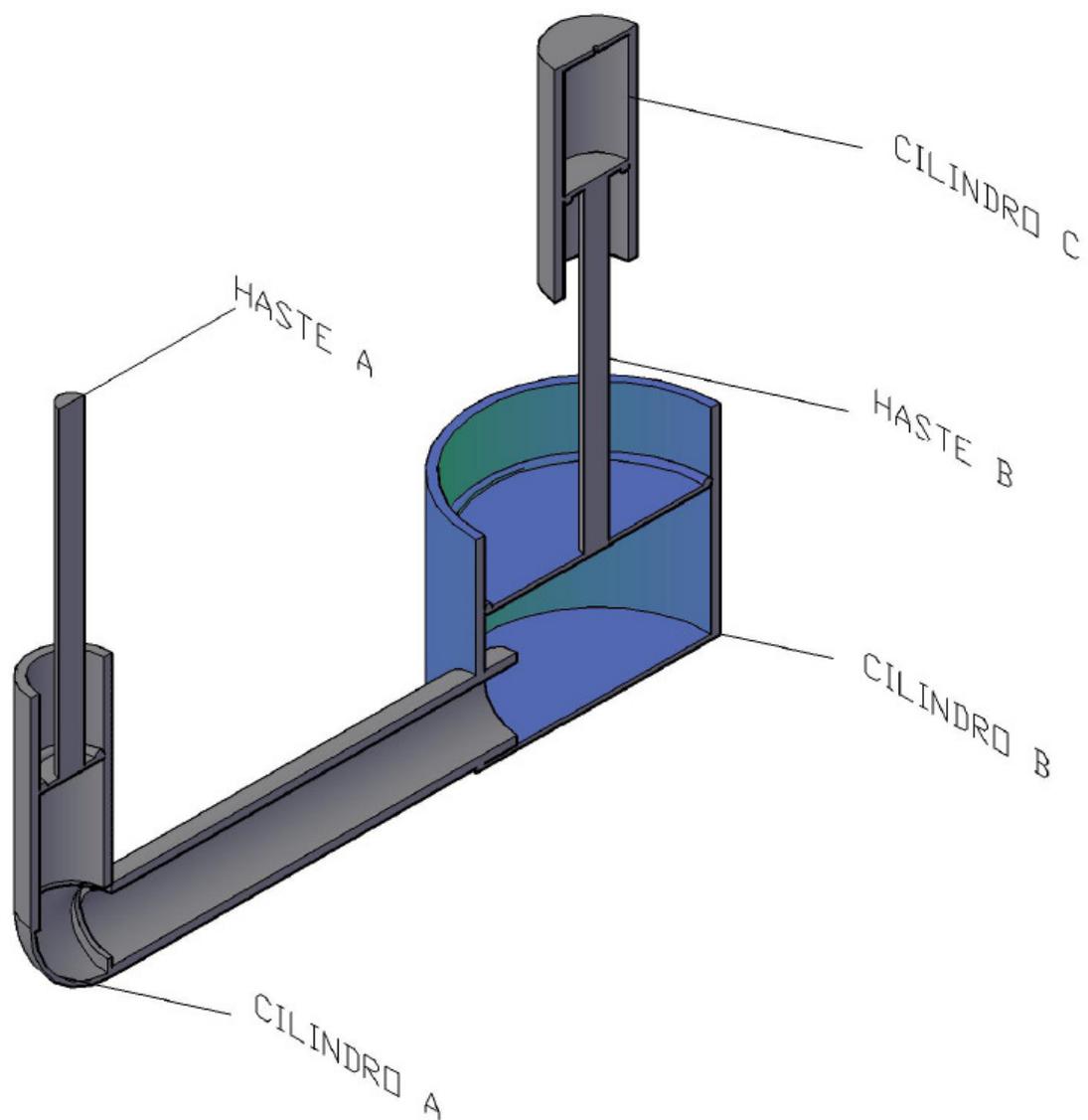


Figura 41 – Esquema físico do cilindro de pressão

14.1.2 Equipamentos necessários

- tubo 1/2"
- tubo 8"
- curva de 90° 1/2" (1)
- anel de vedação
- derivação
- Tampa
- flange

14.1.3 Cálculos dos esforços

Sobre a haste A seria aplicada uma força exercendo uma pressão sobre o fluido que liga o cilindro A e B. A pressão é a mesma nos dois cilindros, porém a força aplicada na haste B é maior que na haste A. E no cilindro C temos a pressão de 210atm.

O menor diâmetro de tubo é de 1/2", ou 25mm, e é a bitola dos cilindro A e C. O cilindro B tem diâmetro de 8", ou 200mm.

Com a pressão do cilindro C e a área da tubo podemos calcular a força necessária na haste B.

$$F_B = P \cdot A_c$$

$$F_B = 21 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{(25 \cdot 10^{-3})^2}{4}$$

$$F_B = 41233,5N$$

Com a força F_B vamos determinar qual o valor da pressão do fluido dos cilindros A e B.

$$P_2 = F_B / A_B$$

$$P_2 = 41233,5 / 0,031$$

$$P_2 = 1,31MPa$$

Com a pressão P_2 conseguimos determinar a força necessária a ser aplicada na haste A.

$$F_A = P_2 \cdot A_A$$

$$F_B = 1,31 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot \frac{(25 \cdot 10^{-3})^2}{4}$$

$$F_B = 2572,2N$$

14.1.4 Viabilidade física

Avaliaremos a viabilidade física segundo dois critérios, quanto a temperatura final, que se eleva durante a compressão do volume inicial ao final, e quanto a possibilidade de flambagem da haste.

Através da equação 5 podemos estimar a temperatura final do processo de compressão de ar. Considerando $T_1 = 300K$, $P_1 = 1atm$ e $k=1,4$.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{(k-1)}{k}}$$

$$\frac{T_2}{300} = \left(\frac{210}{1} \right)^{\frac{(1,4-1)}{1,4}} = 1382,32K$$

Se a compressão ocorre de forma adiabática a temperatura final seria de $T= 1382,32 K$, que é uma temperatura inviável. A máxima temperatura que tubos de PVC para água quente suportam é de 500 K.

Para avaliar o comprimento de haste necessário devem ser calculados os volumes finais nestas duas temperaturas. Este cálculo pode ser realizado através da equação 6.

Primeiramente com $T_2 = 1382,32K$.

$$\frac{210 \cdot V_2}{1382,32} = \frac{1 \cdot V_1}{300}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = 45,6$$

Com $T_2 = 500K$ temos.

$$\frac{210 \cdot V_2}{500} = \frac{1 \cdot V_1}{300}$$

$$\frac{V_1}{V_2} = 126$$

Adotando uma altura final no cilindro de pressão de 1,0cm teríamos um comprimento de haste de 45,6cm para $T=1382,32K$ e um comprimento de haste de 126,0cm para a temperatura de $T=500K$. A altura da haste deve ser de comprimento igual ou maior para que possa desempenhar o seu papel.

Para verificar se é possível o experimento devemos quantificar a força máxima que pode ser aplicada sobre a haste B, sem que esta não sofra flambagem.

Adota-se o material da haste como aço 1050 , comprimento $L=0,456m$ (menor comprimento), e raio igual ao tubo de 0,0125mm.

$$E = 1200N / m^2$$

$$I = \pi \cdot r^4 = 767 \cdot 10^{-6} m^4$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Le^2} = \frac{\pi^2 \cdot 1200 \cdot 767 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 0,456)^2} = 10,92N$$

A máxima carga suportada pela haste sem perder a estabilidade é de 10,92 N. E a carga necessária para se conseguir a pressão desejada é de 41.233,5 N. Portanto, este método é inviável pela elevada temperatura e a possibilidade de flambagem da haste.

14.2 Vaso de pressão

Com um vaso de pressão onde a pressão necessária já está armazenada é preciso que um sistema seguro opere o gás. A figura 42 mostra o esquema da instalação proposta.

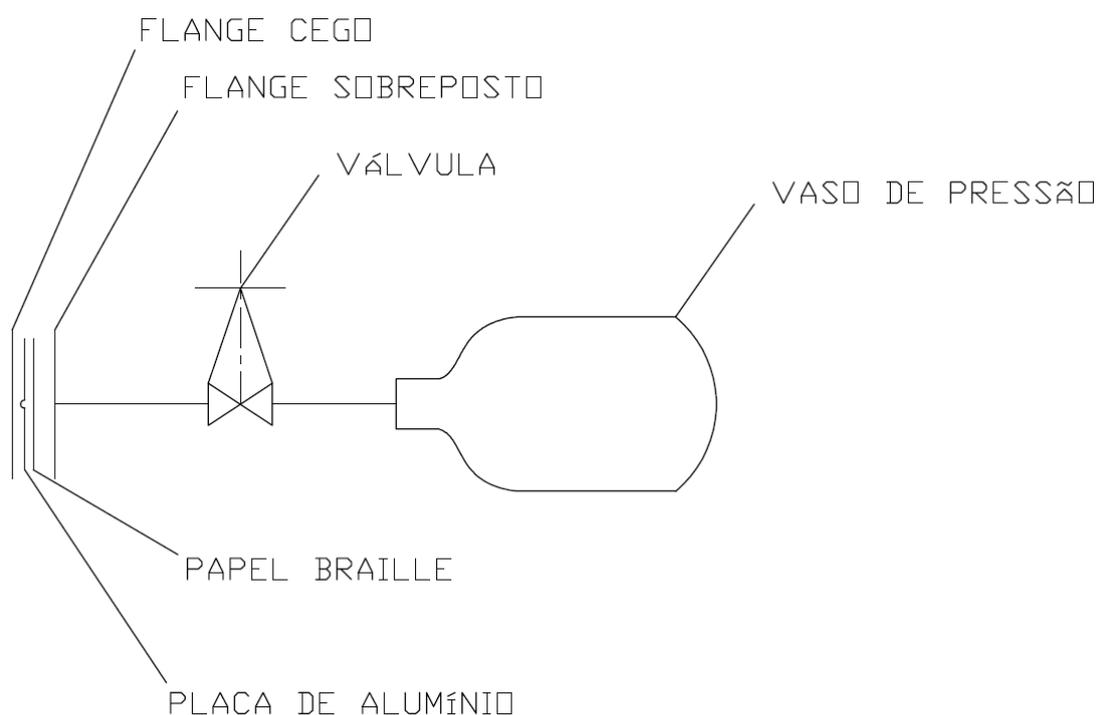


Figura 42 – Fluxograma – Vaso de pressão

O vaso de pressão contém ar comprimido a 4500psi, aproximadamente 310bar, ou menos. A válvula permite a saída do ar do vaso até o sistema. O flange sobreposto e o flange cego são conexões para fechar o sistema. O papel e a placa de alumínio devem ser colocados entre o flange e o flange cego.

14.2.1. Flanges escolhidas

O flange escolhida foi o flange roscado, devido à facilidade na construção da instalação, não seria necessário um profissional especializado em soldas.

Através da norma ASME B16.5, que normaliza o uso de tubos flangeados e flanges, é possível especificar qual classe de pressão será necessária para atender as necessidades do projeto. Define-se o material como aço forjado A216 Gr. WCB. Para a pressão de 3705psi, acima do necessário de 210bar, aproximadamente 3045psi, na temperatura ambiente a classe de pressão do flange sobre posto é de 1500psi. Conforme mostrado na tabela 11 da norma ASME B16.5.

Tabela 11 – Classe de pressão do flange por temperatura e pressão de trabalho

TABLES 2
PRESSURE-TEMPERATURE RATINGS FOR
GROUPS 1.1 THROUGH 3.17 MATERIALS

TABLE 2-1.1 RATINGS FOR GROUP 1.1 MATERIALS

Nominal Designation	Forgings	Castings	Plates
C-Si	A 105 (1)	A 216 Gr. WCB (1)	A 515 Gr. 70 (1)
C-Mn-Si	A 350 Gr. LF2 (1)		A 516 Gr. 70 (1)(2) A 537 Cl. 1 (3)
C-Mn-Si-V	A 350 Gr. LF6 Cl. 1 (4)		

NOTES:

- (1) Upon prolonged exposure to temperatures above 800°F, the carbide phase of steel may be converted to graphite. Permissible, but not recommended for prolonged use above 800°F.
(2) Not to be used over 850°F.
(3) Not to be used over 700°F.
(4) Not to be used over 500°F.

WORKING PRESSURES BY CLASSES, psig

Class Temp., °F	150	300	400	600	900	1500	2500
-20 to 100	285	740	990	1480	2220	3705	6170
200	260	675	900	1350	2025	3375	5625
300	230	655	875	1315	1970	3280	5470
400	200	635	845	1270	1900	3170	5280
500	170	600	800	1200	1795	2995	4990
600	140	550	730	1095	1640	2735	4560
650	125	535	715	1075	1610	2685	4475
700	110	535	710	1065	1600	2665	4440
750	95	505	670	1010	1510	2520	4200
800	80	410	550	825	1235	2060	3430
850	65	270	355	535	805	1340	2230
900	50	170	230	345	515	860	1430
950	35	105	140	205	310	515	860
1000	20	50	70	105	155	260	430

14.2.2 Escolha da válvula

Extremidades

A válvula teria extremidades rosqueadas, pois o vaso de pressão é de rosca também.

Construção

O castelo seria preso ao corpo por uma porca solta de união, devido à alta pressão e diminuto diâmetro.

Acionamento

O acionamento utilizaria volante ou alavancas, ambos manuais.

Tipo de válvula

A válvula seria de bloqueio do tipo macho.

14.2.3 Determinação da rosca do cilindro

O vaso de pressão adquirido para este estudo possui a norma de rosca desconhecida. Assim, seria necessário determinar a rosca do cilindro de gás para que todo o resto da instalação possuísse rosca compatível. Através de um pente de rosca determinou-se o passo da rosca como 18 fios por polegada. O diâmetro foi medido com um paquímetro e resultou igual a 14,7mm. Através dos dados coletados, foi possível determinar a rosca como NPTF 3/8 , 18 fios/polegada, $\Phi = 14,7\text{mm}$.

14.2.4 Viabilidade

Avaliando os parâmetros técnicos e a segurança, o experimento é tecnicamente viável. Entretanto, não foi realizado por dificuldade de obtenção dos componentes no mercado nacional.

15 IMPRESSÃO COM JATOS DE PRESSÃO

15.1 Tipo de válvula

A válvula deve ter um acionamento rápido. As válvulas do tipo agulha satisfariam a necessidade do projeto, mas, provavelmente teria desgaste tão rápido quanto o pino utilizado atualmente nas impressoras Braille convencionais, pois sofreriam esforços de mesma ordem de grandeza.

O sistema de disparo utilizado em equipamentos de paintball supre as necessidades requeridas, durabilidade e velocidade (chega a disparar 30 vezes por segundo).

15.2 Sistema de disparo

Nos marcadores de paintball os projéteis de tinta, bolinhas de tinta, são impulsionados por gás comprimido. O sistema utilizado possui os seguintes componentes principais: martelo, válvula de retenção e molas. A figura 43 representa o sistema.

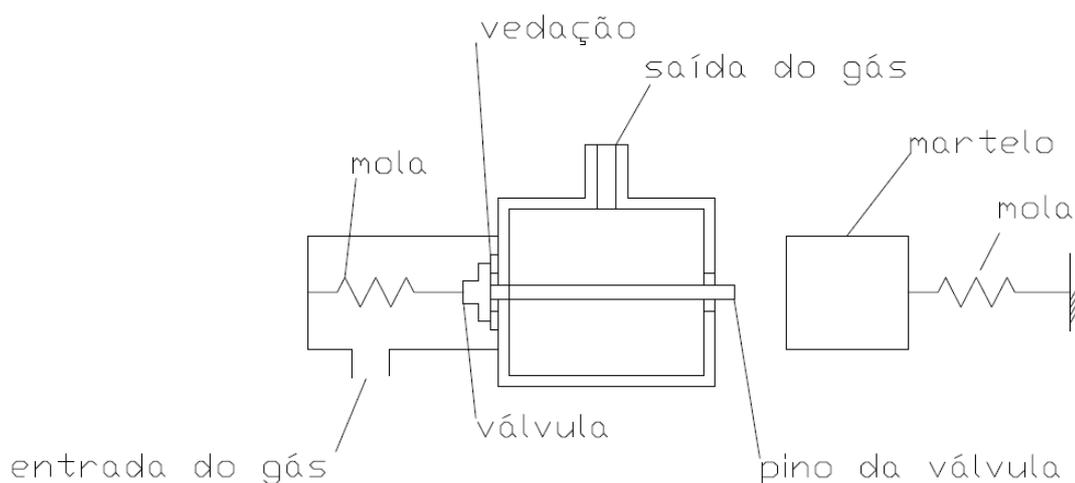


Figura 43 – Sistema de disparo rápido de ar comprimido

15.3 Funcionamento do sistema

A válvula de retenção impede a passagem do gás para a saída. Além da pressão do gás a pressão da mola garante o retorno à posição normal da válvula após o seu acionamento.

Quando o martelo é liberado, este empurra o pino da válvula por força de sua mola, fazendo com que a passagem de gás seja permitida. A mola da válvula força o fechamento e interrompe o escoamento. O gás que passa para a segunda câmara faz com que o martelo volte à posição inicial e expela uma grande quantidade de gás pela saída do gás.

15.4 Bico de saída

O bico de saída do ar teria de ser convergente com 1mm de diâmetro e deve ser conectado na saída do gás. A figura 44 mostra uma idéia do bico de saída.

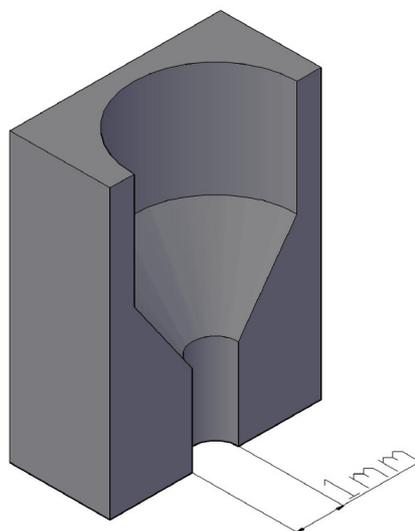


Figura 44 – Bico de saída

15.5 Usinagem do bico

Para conseguir uma peça com dimensões tão reduzidas o método de usinagem seria por eletro-erosão, que possuem precisão de 0,005mm e conseguem rugosidades de 2.5 μ m Rmax.

15.6 Eletroerosão

A Eletro-erosão, ou usinagem por descargas elétricas, ou ainda EDM (Electrical Discharge Machining), é um processo indicado na usinagem de formas complexas em materiais condutores elétricos, especialmente aqueles de alta dureza, e de dimensões diminutas, difíceis de serem usinados por processos tradicionais de usinagem.

Com uma diferença de potencial em corrente contínua entre a peça, o eletrodo deve estar a uma distância de 0,012mm a 0,05mm. Neste espaço denominado GAP circula um fluido dielétrico que se torna eletrolítico na forma gasosa. No instante da descarga elétrica, o eletrodo e a peça não estão em contato devido ao meio dielétrico que os envolve. Ao iniciar o ciclo de erosão, na pequena região de descarga elétrica, a potência despendida por unidade de área pode chegar até 1000 W/m², a temperatura atinge 12.000°C, assim o fluido dielétrico evapora, tornando-se eletrolítico e no meio gasoso a pressão pode alcançar as marcas de 200 atm. Essa descarga elétrica dura alguns milionésimos de segundo. Este período é denominado de Ton. Após a descarga elétrica, inicia-se o período Toff, período que ocorrerá a emersão dos gases eletrolíticos. Os espaços ocupados pelo gás são preenchidos pelo fluido dielétrico em temperatura menor que a região em usinagem, assim, com o choque térmico, ocorrerá uma micro-explosão e a desagregação das partículas fundidas da peça, dando início ao processo de usinagem.

O ferramental pode ser definido como o conjunto que engloba a geometria da ferramenta propriamente dita, o sistema de fixação da peça e o sistema de lavagem. A geometria da ferramenta modifica a velocidade de usinagem e a TRM (Taxa de Remoção de Material). Um exemplo é um eletrodo cilíndrico maciço e um eletrodo cilíndrico vazado. A usinagem por EDM com eletrodo cilíndrico maciço com parâmetros do processo constantes, terá uma velocidade menor que a usinagem com eletrodo cilíndrico vazado. Isso acontece porque com o eletrodo vazado, o volume de material a ser fundido é bem menor que no caso do eletrodo maciço, onde todo o volume do furo, por exemplo, deverá ser fundido. No eletrodo vazado, o tarugo interno não será fundido, terá que ser fundido apenas o material em volta do mesmo para obtenção da geometria desejada. Atualmente, com o advento de máquinas CNC, as ferramentas se restringem a uma fina

haste com extremidade esférica. Com métodos computacionais, é possível obter trajetórias definidas, o que viabiliza a obtenção de superfícies complexas, como se fosse uma fresadora CNC. Isto favorece o processo, pois não há a necessidade de se fabricar ferramentas com geometrias não convencionais, que com o decorrer da usinagem requer novas correções de forma.

O sistema de lavagem é outro fator de significativa importância no ferramental, tendo várias funções importantes. Uma delas é a de arrastar todo material erodido entre a ferramenta e peça, garantindo um avanço contínuo da ferramenta. Outra função é a renovação constante do fluido dielétrico na interface, mantendo as características físicas e químicas do mesmo. Essa renovação garante também o resfriamento mais pronunciado através da ferramenta ou peça. A lavagem interna pode ser feita por sucção ou injeção. As vantagens de um ou outro sistema dependem de cada caso e deve ser levado em conta não só a geometria da peça, mas também a precisão requerida. O sistema de fixação da peça também influi na TRM, pois se relaciona com o sistema de lavagem permitindo a passagem do dielétrico em diferentes regiões. Todo o conjunto que compõem o ferramental relaciona-se mutuamente, portanto a escolha de um ferramental adequado ao tipo de trabalho a ser executado, deve levar em consideração todos os fatores envolvidos, para que o processo tenha o melhor desempenho. A figura 45 ilustra uma máquina de eletro-erosão a fio.



Figura 45 – Máquina de eletro-erosão a fio

16 TESTE COM DISPAROS DE AR

Utilizando o sistema de válvula descrito anteriormente, foram realizados testes com pressão de saída de 600 bar, a pressão é reduzida porque o sistema empregado possui algumas câmaras de expansão para segurança que reduzem a pressão de saída. O tubo de saída possui diâmetro de 17mm, permitindo o teste de impressão em diversos diâmetros diferentes.

O teste visou obter a impressão em alto relevo utilizando uma placa de impressão e uma espuma de vedação, a folha de papel foi colocada entre os dois componentes, conforme ilustrado na fig. 46.

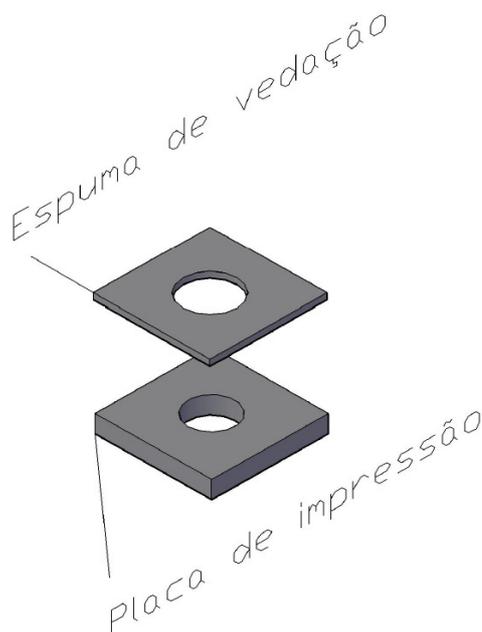


Figura 46 – Esquema de teste 01

Foram adotados diâmetros de 9,1 mm, 4,15 mm, 3,20 mm, 5,30 mm e 10,7 mm. Não foi obtida nenhuma impressão Braille, uma vez que a pressão é muito menor que a necessária para provocar deformações plásticas.

16.1 Teste com placa de impressão em alto relevo

Utilizando uma placa de impressão com um pino em alto relevo e o mesmo sistema no teste anterior conseguimos resultados satisfatórios. A fig. 47 representa o pino em alto relevo. Foram testados altos relevos com diversas formas e alturas, conforme a tabela 12. A tabela 12 contém uma síntese qualitativa dos resultados experimentais.

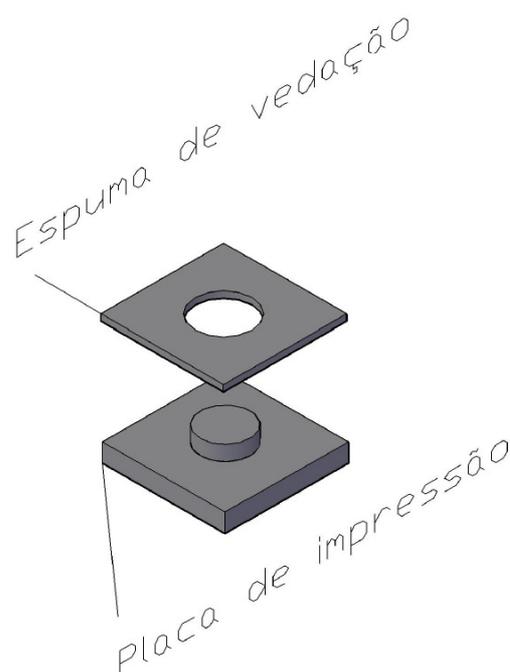


Figura 47 – esquema de teste 02

Tabela12 – Pontos de teste – placa de impressão

Forma	Molde	Altura (mm)	Resultado
pontiagudo	1	1,30	rasgou papel
redondo	2	2,10	rasgou papel
pontiagudo	3	1,25	rasgou papel
pontiagudo	4	1,40	rasgou papel
pontiagudo	5	1,15	rasgou papel
pontiagudo	6	1,80	rasgou papel
chato	7	1,10	impressão leve
chato	8	1,70	rasgou papel
chato	9	1,10	impressão muito leve
chato	10	1,30	rasgou papel
chato	11	1,25	rasgou papel
chato	12	1,85	rasgou papel

O Molde 2 foi utilizado em duas condições adicionais, sem espuma de vedação e com uma espuma cobrindo totalmente o papel. No teste do molde 2 e sem espuma de vedação, obteve-se uma leve impressão. No teste do molde 2 e com uma espuma de vedação cobrindo totalmente o papel, foi obtida uma impressão muito boa, onde o papel não foi rasgado, conforme documentado pela figura 48.



Figura 48 – Impressão Braille com placa de impressão em alto relevo redondo e espuma de vedação cobrindo todo o papel.

17 ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMENTÁRIOS FINAIS

Apesar do resultado em elementos finitos nos dar uma pressão alta, 3100Psi, um teste para validar o valor obtido é factível. E o estudo do módulo de elasticidade do papel foi coeso e chegou a bons resultados.

Não há diferença significativa entre os resultados do processador Winfelt e do processador SolidWorks. A pressão necessária é praticamente a mesma.

O teste com disparos de ar comprimido com pressão estática de 600Psi foram obtidos resultados satisfatórios, atingindo o objetivo deste trabalho de investigar a viabilidade física de obter impressão Braille através do uso de ar comprimido e sem o uso de um pino a alta velocidade. O resultado foi obtido com uma pressão quase 5 vezes menor que a pressão necessária se a pressão fosse aplicada apenas na área a ser deformada. Foi verificado que a altura e forma do alto relevo são parâmetros que influenciam de forma significativa a qualidade da impressão Braille. A impressão utilizando espuma de vedação sobre molde com saliência semi-esférica em alto relevo foi a melhor obtida.

18 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **TIMOSHENKO; GERE**; MECÂNICA DOS SÓLIDOS VOLUME 1; EDITORA LTC – LIVROS TÉCNICOS E CIENTÍFICOS S.A 1992
- [2] **MENDES, AFONSE HENRIQUE**; HIGROEXPANSIBILIDADE DE PAPEL REPROGRÁFICO PRODUZIDO COM FIBRAS DE EUCALIPTO EM MÁQUINA INDUSTRIAL; TESE DE MESTRADO 2006, EPUSP.
- [3] **INSITUTO BENJAMIN CONSTANT** - < <http://www.ibc.gov.br>>; acesso em 01 de maio de 2007
- [4] **VAN WYLEN; BORGNAKKE; SONNTAG**; FUNDAMENTOS DA TERMODINÂMICA 5ª EDIÇÃO; EDITORA EDGARD BLUCHER LTDA.
- [5] **ELECTRON EROSÃO** - <[http://209.160.65.227/\\$sitepreview/electronerosao.com.br/index.asp](http://209.160.65.227/$sitepreview/electronerosao.com.br/index.asp)> ; acesso em 30 de outubro de 2007.
- [6] **BLOW-BACK BASICS** - <<http://pukindogspaintball.com/blbk/BB-BASICS.htm>> ; acesso em 25 de outubro de 2007
- [7] **SILVA TELLES, PEDRO C.**; TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS – MATERIAIS, PROJETO, MONTAGEM 10ª EDIÇÃO; LTC EDITORA.

ANEXO A

CÓDIGO DA PRIMEIRA SIMULAÇÃO

problem description

title="htk sample" nodes=12 elements=5

nodes

/* BASE*/

1 x=0.0 y=0.0 z=0.0 constraint=fixo

2 x=0.05 constraint=fixo

3 x=0.0083 y=0.0083 constraint=livre

4 x=0.0415 y=0.0083 constraint=livre

5 x=0.0166 y=0.0166 constraint=livre

6 x=0.0332 y=0.0166 constraint=livre

7 x=0.024 y=0.025 force=point constraint=livre

8 x=0.025 y=0.025 force=point constraint=livre

/* ABA ESQUERDA */

9 x=0.0125 y=0.0125 z=0.0177 constraint=livre

10 x=0.0126 y=0.0125 z=0.0177 constraint=livre

/* ABA DIREITA */

11 x=0.0374 y=0.0127 z=0.0177 constraint=livre

12 x=0.0375 y=0.01270 z=0.0177 constraint=livre

htk elements

1 nodes=[1,2,4,3] material=PAPER

2 nodes=[3,4,6,5]

3 nodes=[5,6,8,7]

4 nodes=[1,9,10,7]

5 nodes=[2,12,11,8]

/* ABA ESQUERDA */

/* ABA DIREITA */

material properties

PAPER E=2.6e9 nu=0.3 t=0.000155

constraints

livre Tx=u Ty=u Tz=u Rx=u Ry=u Rz=u

fixo Tx=c Ty=c Tz=c Rx=c Ry=c Rz=c

forces

point Fz=-0.186520

end

ANEXO B

CÓDIGO DA SEGUNDA SIMULAÇÃO

problem description

title="htk sample" nodes=36 elements=25

nodes

```
1 x=0.0 y=0.0 constraint=fixo
2 x=0.001 constraint=fixo
3 x=0.002 constraint=fixo
4 x=0.003 constraint=fixo
5 x=.004 constraint=fixo
6 x=.005 constraint=fixo
7 x=0.0 y=0.001 constraint=fixo
8 x=0.001 constraint=livre_xy
9 x=0.002 constraint=livre_xy
10 x=0.003 constraint=livre_xy
11 x=.004 constraint=livre_xy
12 x=.005 constraint=fixo
13 x=0.0 y=0.002 constraint=fixo
14 x=0.001 constraint=livre_xy
15 x=0.002 constraint=livre_xyz force=point
16 x=0.003 constraint=livre_xyz force=point
17 x=.004 constraint=livre_xy
18 x=.005 constraint=fixo
19 x=0.0 y=0.003 constraint=fixo
20 x=0.001 constraint=livre_xy
21 x=0.002 constraint=livre_xyz force=point
22 x=0.003 constraint=livre_xyz force=point
23 x=.004 constraint=livre_xy
24 x=.005 constraint=fixo
25 x=0.0 y=.004 constraint=fixo
26 x=0.001 constraint=livre_xy
27 x=0.002 constraint=livre_xy
28 x=0.003 constraint=livre_xy
29 x=0.004 constraint=livre_xy
30 x=0.005 constraint=fixo
31 x=0.0 y=.005 constraint=fixo
32 x=0.001 constraint=fixo
33 x=0.002 constraint=fixo
34 x=0.003 constraint=fixo
35 x=.004 constraint=fixo
36 x=.005 constraint=fixo
```

htk elements

1 nodes=[1,2,8,7] material=PAPER

2 nodes=[2,3,9,8]

3 nodes=[3,4,10,9]

4 nodes=[4,5,11,10]

5 nodes=[5,6,12,11]

6 nodes=[7,8,14,13]

7 nodes=[8,9,15,14]

8 nodes=[9,10,16,15]

9 nodes=[10,11,17,16]

10 nodes=[11,12,18,17]

11 nodes=[13,14,20,19]

12 nodes=[14,15,21,20]

13 nodes=[15,16,22,21]

14 nodes=[16,17,23,22]

15 nodes=[17,18,24,23]

16 nodes=[19,20,26,25]

17 nodes=[20,21,27,26]

18 nodes=[21,22,28,27]

19 nodes=[22,23,29,28]

20 nodes=[23,24,30,29]

21 nodes=[25,26,32,31]

22 nodes=[26,27,33,32]

23 nodes=[27,28,34,33]

24 nodes=[28,29,35,34]

25 nodes=[29,30,36,35]

material properties

PAPER E=2.6e9 nu=0.3 t=0.000155

constraints

livre_xy Tx=u Ty=u Tz=c

livre_xyz Tx=u Ty=u Tz=u

fixo Tx=c Ty=c Tz=c Rx=c Ry=c Rz=c

forces

point Fz=-10.45

end