



JOSÉ CARLOS MONTEIRO PITEIRA

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

CORTE POR INDENTAÇÃO DE PELÍCULAS POLIMÉRICAS – CASO DE ESTUDO

MESTRADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2022



Corte por indentação de películas poliméricas – caso de estudo

JOSÉ CARLOS MONTEIRO PITEIRA

Licenciado em Ciências da Engenharia Mecânica

Orientador: João Fradinho,

Professor Auxiliar, Universidade NOVA de Lisboa

Coorientadores: António Mourão,

Professor Associado, Universidade NOVA de Lisboa

Hélder Silva,

Engenheiro Mecânico Metal-Conser, Lda

Corte por indentação de películas poliméricas – caso de estudo.

Copyright © José Piteira, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa. A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio de várias pessoas, às quais se deixa aqui um profundo e especial agradecimento.

Aos Professores João Fradinho e António Mourão, agradeço toda a orientação e apoio prestados no desenvolvimento deste dissertação.

Agradeço também a toda a equipa da Metal - Conser pela amabilidade e familiaridade com que fui acolhido e pela produção dos suportes utilizados no estudo. Um agradecimento especial ao Eng. Hélder Silva e ao Eng. Fábio Dias, por todo o acompanhamento prestado durante o tempo de estágio na empresa.

Ao Eng. Rui Gonçalves, agradece-se toda a ajuda prestada em relação ao trabalho e à utilização da prensa de testes.

RESUMO

O tema explorado nesta tese advém de um equipamento desenvolvido em ambiente empresarial, que apresentou resultados insatisfatórios, já depois da fase de produção. Trata-se de uma prensa de ação pneumática que tem como função cortar película de LDPE (com um tratamento superficial que lhe confere dureza acrescida), através do processo de corte com matriz.

Desenvolveu-se uma investigação sobre o processo de corte com matriz, e do mecanismo de corte envolvido - corte por indentação - no sentido de identificar as causas (e possíveis soluções) dos resultados indesejados, produzidos pelo equipamento. Essa investigação incluiu, para além de uma pesquisa aprofundada sobre o tema, uma série de testes preliminares, com o intuito de despistagem de possíveis causas e soluções teorizadas até esse momento. Nesses testes, avaliaram-se os resultados obtidos no corte com substratos de diferentes durezas e também com diferentes modos de aplicação de força - constante ou por impacto.

Como complemento à investigação realizada, conduziu-se uma série de ensaios em laboratório com o objetivo de investigar a influência da geometria do contorno de corte, na força envolvida no corte com matriz. Os ensaios foram realizados numa prensa do Laboratório DEMI, na FCT-UNL. De forma a permitir a montagem das lâminas com diferentes geometrias à prensa, projetaram-se suportes capazes de acomodar uma lâmina em três geometrias diferentes - retilínea, circular e em "S".

Concluiu-se que o equipamento estudado teve falhas de projeto. O dimensionamento inicial de 100 kgf foi incorreto e insuficiente. Para além disso, a escolha do substrato e dos cortantes foi também inadequada. O substrato escolhido apresenta uma dureza demasiado próxima do material cortado, pelo que promove a ocorrência de *dents*, impossibilitando o corte da película. No caso dos cortantes, a espessura do gume de corte dos mesmos é demasiado elevada para a espessura da película de LDPE, o que torna impossível a ocorrência de separação do material.

Em relação à influência da geometria do cortante na força necessária para o corte de película poliméricas, observou-se que no caso da geometria em "S", a força de corte obtida experimentalmente apresenta um valor cerca de 25% superior àquela calculada teoricamente, para o mesmo perímetro. No entanto, apenas foi possível contabilizar um ensaio nesta geometria. Para além disso os ensaios realizados indicaram que, no caso de geometrias simples (neste

caso, retilínea), a fórmula utilizada se mostra adequada e produz resultados concordantes com os que se observaram experimentalmente.

Palavas chave: Corte com matriz, corte por indentação, contorno de corte, geometria, projeto, prensa, polímero

ABSTRACT

The subject explored in this thesis arise from an equipment, developed in a business environment, which presented unsatisfactory results, after the production phase. This equipment is a pneumatically actuated press whose function is the cutting of LDPE film (with a surface treatment that increases its hardness), through the die cutting process.

An investigation was carried out on the die cutting process, and the cutting mechanism involved in that process – indentation cutting – in order to identify the causes (and possible solutions) for the undesired results produced by the equipment. This investigation included, in addition to an in-depth research on the subject, a series of preliminary tests, in order to exclude possible causes and solution theorized up to that moment. In these tests, the results obtained in cutting substrates of different hardness and also with different modes of force application – constant or impact – were evaluated.

As a complement to the investigation, a series of laboratory tests were carried out, in order to investigate the influence of the geometry of the cutting contour on the force needed for the die cutting process. The tests were carried out in a press existent in the DEMI Laboratory, at FCT-UNL. In order to allow the assembly of blades with different geometries to the press, holders were designed, capable of accommodating the blade in three different geometries: rectilinear, circular and “S”.

It was concluded that the equipment studied had design flaws. The initial sizing of 100 kgf was incorrect and insufficient. Furthermore, the substrate and cutters chosen were also inadequate. The substrate had an hardness too close to the target material, which promotes the occurrence of dents, making it impossible to cut the film. Regarding the cutters, the thickness of the cutting edge is too high, when compared to the thickness of the LDPE film, which makes material separation impossible.

Regarding the influence of the geometry of the cutter on the force required for the cutting of polymeric films, it was observed that in the particular case of the “S” geometry, the cutting force obtained experimentally presented a value about 25% higher than that calculated theoretically, for the same perimeter. However, it was only possible to count one test in

this geometry. Also, the tests carried out indicated that, in the case of simple geometries (rectilinear), the formula used is adequate and produces results in agreement with those observed experimentally.

Keywords: Die cutting, indentation cutting, cutting shape, geometry, project, press, polymer

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Motivação	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Organização do documento	2
2	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA	5
2.1	A empresa	6
2.2	Introdução tecnológica	7
2.2.1	Corte com matriz	7
2.2.2	Corte por indentação	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Fratura e Plasticidade	13
3.1.1	Fratura	14
3.1.2	Plasticidade	16
3.2	Corte por indentação	17
3.2.1	Cortante	17
3.2.2	Material alvo	31
3.2.3	Substrato	36
3.3	Resumo do estado da arte	37
3.3.1	Cortante	37
3.3.2	Material alvo	38
3.3.3	Substrato	39
3.3.4	Métodos de análise	40
4	ANÁLISE PRELIMINAR	41

4.1	Cálculo da força	41
4.2	Testes diagnóstico.....	43
4.2.1	Instalação operacional.....	44
4.2.2	Instalação com substrato alternativo	45
4.2.3	Substrato com dureza variável.....	46
4.3	Interpretação de resultados.....	49
5	MÉTODO EXPERIMENTAL.....	51
5.1	Introdução.....	51
5.2	Instrumentação	52
5.2.1	Lâmina.....	52
5.2.2	Suportes	53
5.2.3	Substrato	56
5.2.4	Prensa de testes.....	56
5.3	Dificuldades encontradas	57
5.4	Procedimento	58
6	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	60
6.1	Tratamento de dados	60
6.2	Apresentação de resultados.....	60
6.2.1	Variação de perímetro - TD.....	60
6.2.2	Variação de direção (MD/TD).....	63
6.2.3	Variação de geometria	64
6.2.4	Corte na massa.....	66
7	CONCLUSÃO.....	71
7.1	Sobre o projeto estudado	71
7.2	Sobre os resultados experimentais.....	73
7.3	Propostas de trabalho futuro	74
	BIBLIOGRAFIA.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemática do processo de <i>Die Cutting</i> ou Corte com Matriz.....	5
Figura 2 - Instalações Metal - Conser, Lda.....	7
Figura 3 - Prensa de Gutenberg.....	7
Figura 4 - a) Corte total b) Corte de uma camada.....	9
Figura 5 – Corte parcial.....	9
Figura 6 - Vincagem	9
Figura 7 - Picotagem.....	9
Figura 8 - a) <i>Secção de matriz rotativa (cilíndrica)</i> ; b) <i>Matriz plana</i>	10
Figura 9 - Representação esquemática do Corte com Matriz (1-Punção ou lâmina; 2-Material alvo; 3- Substrato).....	11
Figura 10 - Modos de fratura	15
Figura 11 - Deformação da malha do bloco.....	18
Figura 12 - Resultados experimentais (as linhas brancas representam uma aproximação da zona plástica).....	18
Figura 13 - Esquemática da indentação com lâmina (com pile up)	18
Figura 14 - Variação de pressão normalizada, $P/2K$, com o semiângulo da lâmina, β	19
Figura 15 - Força de corte vs Raio fio de corte	19
Figura 16 - Força de corte vs Velocidade de corte	20
Figura 17 - Área do "lábio" vs Velocidade de corte	20
Figura 18 - Diagrama da Indentação de um punção cónico com arredondamento do fio de corte	21
Figura 19 - Linhas de escorregamento na indentação com lâmina	21
Figura 20 - Formação de núcleo hidrostático e zona de grandes deformações.....	22
Figura 21 - Relação entre tensão de corte e profundidade de penetração	22
Figura 22 - Relação entre Esforço máximo e Diâmetro do punção	22
Figura 23 - Ilustração Punções: a) cónico; b) plano.....	23
Figura 24 - Malha de elementos finitos afetada pela indentação da lâmina.....	23
Figura 25 - Comparação entre experiência e modelo computacional.....	23

Figura 26 - Relação entre BSI e ângulo de ataque da lâmina em graus	24
Figura 27 - Relação entre BSI e raio do fio de corte	24
Figura 28 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e por simulação por Elementos Finitos da indentação com uma cunha truncada.....	24
Figura 29 - Esquemática da indentação com lâmina trapezoidal e malha de Elemento Finitos	25
Figura 30 - Resultados experimentais (a) e segundo a Slip-Line Theory (b)	25
Figura 31 - Resultados da simulação numérica.....	26
Figura 32 - Relação entre espessura do fio de corte e C1	26
Figura 33 - Modelo da indentação com lâmina.....	27
Figura 34 - Relação entre 2º ponto de inflexão e espessura do fio de corte	27
Figura 35 - Contornos de extensões plásticas equivalentes e Tensão principal máxima, segundo MEF.....	28
Figura 36 - Modelo da resposta em carga durante a indentação.....	28
Figura 37 - Esquemática do fenómeno de <i>necking</i>	29
Figura 38 - Resultados experimentais com variação de w	29
Figura 39 - Relação entre espessura residual, linha de força mínima e espessura do fio de corte	29
Figura 40 - Probabilidade de separação (resultados experimentais)	30
Figura 41 - Secção de corte da chapa de alumínio (experimental)	30
Figura 42 - Perfil da lâmina utilizada	31
Figura 43 - Dependência da Energia de Fratura e Cristalinidade com a temperatura (LDPE).....	32
Figura 44 - Dependência da tensão de cedência com a temperatura.....	32
Figura 45 - Relação entre força de indentação e profundidade, para diferentes temperaturas da lâmina (296K, 318K e 333K).....	33
Figura 46 - Perfil de corte obtido para cada temperatura.....	33
Figura 47 - Coeficientes de fricção utilizados na simulação.....	34
Figura 48 - Resultados da simulação por Elementos finitos da resposta em carga, para cada caso	34
Figura 49 - Deformação das películas durante a indentação, para cada caso	35
Figura 50 - Representação das direções <i>MD</i> e <i>TD</i>	36
Figura 51 - <i>Setup</i> do cliente - Prensa em utilização.....	44
Figura 52 - Cortante único em serviço.....	44
Figura 53 - Resultado do corte (maioritariamente <i>creasing</i> , sem corte)	44
Figura 54 - <i>Setup</i> de testes alternativo	45
Figura 55 - Chapa de alumínio: 1 passagem à esquerda. 7 passagens à direita	46
Figura 56 - Resultado dos 7 cortes com <i>setup</i> de testes alternativo	46
Figura 57 - Montagem suporte e Vazador de 20 mm.....	47
Figura 58 - Montagem suporte e Vazador de 10 mm.....	47

Figura 61 - Cartão - Força constante - 20mm.....	48
Figura 61 - PE - Impacto- 10mm.....	48
Figura 61 - Cartão - Força Constante - 10mm.....	48
Figura 62 - Lâmina utilizada nos testes.....	52
Figura 63 - Fixador - prensa.....	53
Figura 64 - Suporte retilíneo - vista inferior.....	54
Figura 65 - Suporte "S" - vista inferior.....	54
Figura 66 - Suporte circular - vista inferior.....	55
Figura 67 - Montagem completa "S" - vista superior.....	55
Figura 68 - Montagem completa "S" - vista inferior.....	55
Figura 69 - Montagem completa suporte retilíneo - vista inferior.....	56
Figura 70 - Lâmina utilizada nos ensaios - zonas destacadas apresentam uma ligeira elevação em relação ao gume de orte (aplica-se a ambos os gumes de corte).....	57
Figura 71 - Lâmina cortada.....	58
Figura 72 - Representação gráfica dos resultados da variação de perímetro.....	63
Figura 73 - Representação gráfica dos resultados da variação de direção MD/TD (destacado).....	64
Figura 74 - Representação gráfica dos resultados da geometria em "S" (destacado).....	65
Figura 75 - Representação gráfica dos resultados finais (corte na massa inclusivê).....	67
Figura 76 - Gráfico força - deslocamento - 10mm_2° ensaio.....	85
Figura 77 - Gráfico força - deslocamento - 10mm_1° ensaio.....	85
Figura 78 - Gráfico força - deslocamento - 10mm_3° ensaio.....	90
Figura 79 - Gráfico força - deslocamento - 20mm_1° ensaio.....	90
Figura 80 - Gráfico força - deslocamento - 20mm_2° ensaio.....	95
Figura 81 - Gráfico força - deslocamento - 20mm_3° ensaio.....	95
Figura 82 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_1° ensaio.....	100
Figura 83 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_2° ensaio.....	100
Figura 84 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_3° ensaio.....	105
Figura 85 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_MD_1° ensaio.....	105
Figura 86 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_MD_2° ensaio.....	110
Figura 87 - - Gráfico força - deslocamento - 30mm_MD_3° ensaio.....	110
Figura 88 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_Massa_1° ensaio.....	115
Figura 89 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_Massa_2° ensaio.....	115
Figura 90 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_Massa_3° ensaio.....	120
Figura 91 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_S_2° ensaio.....	120

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas Película de LDPE ref	43
Tabela 2 - Resultados qualitativos do corte com vazadores.....	47
Tabela 3 - Resultados 10mm - 1º ensaio	60
Tabela 4 - Resultados 10mm - 2º ensaio	61
Tabela 5 - Resultados 10mm - 3º ensaio	61
Tabela 6 - Resultados 20mm - 1º ensaio	61
Tabela 7 - Resultados 20mm - 2º ensaio	61
Tabela 8 - Resultados 20mm - 3º ensaio	61
Tabela 9 - Resultados 30mm - 1º ensaio	62
Tabela 10 - Resultados 30mm - 2º ensaio	62
Tabela 11 - Resultados 30mm - 3º ensaio	62
Tabela 12 - Resultados MD_30mm - 1º ensaio.....	63
Tabela 13 Resultados MD_30mm - 2º ensaio.....	63
Tabela 14 - Resultados MD_30mm - 3º ensaio.....	64
Tabela 15 - Resultados "S"_30mm - 1º ensaio	65
Tabela 16 - Resultados 30mm_TD_Massa - 1º ensaio.....	66
Tabela 17 - Resultados 30mm_TD_Massa - 2º ensaio.....	66
Tabela 18 - Resultados 30mm_TD_Massa - 1º ensaio.....	66

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Esta dissertação representa o culminar de um ciclo de estudos em Engenharia Mecânica, no grau de Mestrado. Surge como uma possibilidade de aplicar os conhecimentos adquiridos durante os últimos anos, no desenvolvimento de uma solução para um problema real, que se deve a uma falha na fase de projeto de um equipamento.

Vivemos numa fase do desenvolvimento tecnológico onde a busca incessante por recursos energéticos e por matérias-primas se está a tornar insustentável. Fruto disso, não só por motivos morais e éticos, mas também por razões económicas, reduzir desperdícios, consumos e melhorar a eficiência dos processos produtivos, tornou-se o principal foco da indústria e também da investigação científica.

A redução de consumos, desperdícios e o melhoramento de processos é, portanto, o objetivo de qualquer engenheiro, em qualquer projeto. No entanto, a indústria (no caso da indústria portuguesa, esta é, infelizmente, a realidade mais frequente) nem sempre tem possibilidades de investir recursos em investigação e desenvolvimento, sendo “refém” de prazos de entrega de equipamentos, tornando impossível a realização de qualquer melhoria ou alteração dos projetos, resultando muitas vezes em produtos com qualidade inferior àquela que seria possível com melhor planeamento e investimento.

O desenvolvimento desta Dissertação permite fazer esse papel de investigação, inserido numa empresa que enfrenta esta realidade, com a intenção de produzir resultados que possam ser utilizados mais à frente, tanto pela empresa em questão, como terceiros.

A título de curiosidade, e ainda com um carácter de contextualização, apresentam-se em seguida os significados literais das expressões projeto, máquina e engenharia, de forma a ilustrar de forma resumida o *background* e o interesse do autor nesta problemática.

- **Projeto**, do latim *projectu* (“lançado”), particípio passado de *projicere* (“lançar para a frente”) pode definir-se como um plano para a realização de um ato (esboço) ou uma representação gráfica e escrita, acompanhada de um orçamento que torne viável a realização de uma obra.

- **Máquina**, do grego *makhaná* (“invenção engenhosa”), do latim *machīna*, define-se como:

i) um aparelho ou instrumento próprio para comunicar movimento ou para transformar uma forma de energia noutra;

ii) equipamento que utiliza força mecânica, composto por peças móveis, em que cada uma desempenha uma função específica.

- **Engenharia**, do latim *ingenū* (“engenho”) e *aria* (sufixo que traduz ideia de oficina, coleção...) é a aplicação de princípios científicos à exploração dos recursos naturais, ao projeto e à construção de comodidades/fornecimento de utilidades.

1.2 Objetivo

Com a produção deste documento, pretende-se expôr e analisar um projeto de engenharia, realizado em ambiente empresarial, que revelou ter muitas falhas já depois da fase de produção (antes do início deste estudo).

O objetivo final da realização da dissertação será concluir sobre as possíveis causas e soluções dos problemas encontrados no projeto analisado e também tirar conclusões relativamente à influência da geometria de corte nos esforços envolvidos no processo de corte com matriz (em comparação com o método de estimação de força mais utilizado na indústria).

1.3 Organização do documento

Este documento encontra-se organizado em 7 capítulos.

No primeiro capítulo apresenta-se a motivação e os objetivos que levaram à produção desta dissertação.

No segundo capítulo encontra-se uma descrição geral do problema e uma contextualização histórica e tecnológica da temática estudada.

No terceiro capítulo faz-se a revisão da literatura disponível sobre o tema.

No quarto capítulo apresenta-se uma análise do problema estudado que inclui uma série de testes de despistagem de possíveis causas e soluções para o mesmo.

No quinto capítulo conduz-se uma atividade experimental, com o intuito de investigar a influência da geometria do contorno no corte por indentação de películas poliméricas.

No sexto capítulo apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos experimentalmente.

No sétimo e último capítulo apresentam-se as conclusões da dissertação.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

A empresa Metal – Conser, Lda (onde se desenvolveu esta dissertação) recebeu um pedido de projeto e produção de uma prensa. Esta prensa teria a função de cortar vários tipos de material, em folha/película, através de matrizes de cortantes, contra um substrato – processo conhecido como *Die Cutting* ou Corte com Matriz, representado na Figura 1.

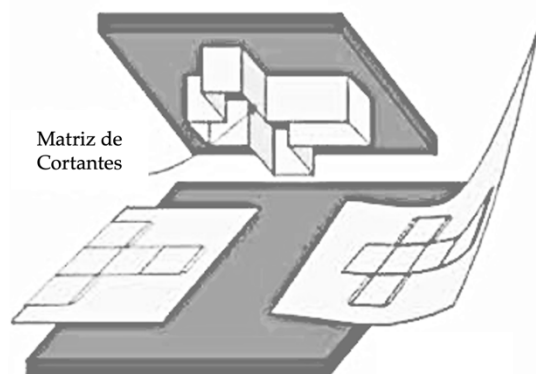


Figura 1 - Esquemática do processo de *Die Cutting* ou Corte com Matriz

Com base nas especificações fornecidas pelo cliente, o equipamento teria que cumprir duas condições de funcionamento:

- i) força máxima de 100 kgf;
- ii) acionamento pneumático (não se admitem contaminações do processo, por ser usado na produção de produtos hospitalares).

O projeto e produção do equipamento decorreram sem problemas e a prensa foi entregue ao cliente.

No entanto, ainda durante a fase de testes, já nas instalações do cliente, verificou-se que a prensa não cortava alguns materiais, em certas condições, sendo que o material que apresentava mais problemas era uma película de 0,07 mm de LDPE (Polietileno de baixa densidade), com um tratamento superficial numa das faces, que tem como objetivo a proteção contra furos/riscos. Cortar o material pela face que tem este tratamento superficial é, também, uma necessidade do cliente.

Fruto das necessidades de produção, era necessário solucionar o problema rapidamente. Optou-se por redimensionar o projeto inicial para uma força máxima de 1800 kgf, de forma a garantir que a prensa cumpria o seu objetivo (este valor foi escolhido com base na capacidade máxima dos cilindros pneumáticos utilizados). No entanto, apesar do aumento substancial na força aplicada, o processo não ficou a funcionar nas condições ideais, continuando a apresentar defeitos e falhas nos cortes.

O problema não ficou totalmente resolvido e ficou evidente que a forma como se projetou a prensa tinha falhas. Apesar disso, o cliente pretendia outro equipamento igual alguns meses depois da entrega, pelo que fazia todo o sentido tentar arranjar uma solução efetiva para o problema.

Nesta dissertação apresenta-se uma investigação sobre o problema enfrentado pela empresa, com o intuito de encontrar respostas e soluções para as falhas do projeto inicial, de forma a, se possível, implementar no novo equipamento e/ou melhorar a prensa já produzida.

2.1 A empresa

A Metal – Conser, Lda é uma empresa de Metalomecânica, localizada no Montijo (Figura 2). Fundada em 1989, a principal atividade da empresa era principalmente o fornecimento de serviços de manutenção e maquinação de peças/construção de ferramentas. No entanto, em 2007, com a criação do Gabinete de Engenharia e Projeto Mecânico, passou a englobar toda a área de negócio, desde o Projeto ao Produto Final.

Esta dissertação foi desenvolvida enquanto englobado neste gabinete de engenharia, permitindo a comunicação direta tanto com os engenheiros e funcionários da Metal – Conser, Lda, como com os engenheiros da empresa que encomendou a prensa pneumática estudada.

Para além do desenvolvimento da Dissertação, durante o estágio na empresa foi possível acompanhar engenheiros projetistas em ambiente empresarial, tanto na fase de projeto, como na fase de produção e implementação de equipamentos, uma experiência que se revelou bastante enriquecedora tanto a nível pessoal como profissional.



Figura 2 - Instalações Metal - Conser, Lda

2.2 Introdução tecnológica

2.2.1 Corte com matriz

A introdução do *Die Cutting* (Corte com matriz), como processo de produção em massa, ter-se-á dado em meados de 1400, com a prensa de Gutenberg.

Gutenberg terá construído um instrumento que revolucionou a impressão de documentos – a Prensa de Gutenberg ou Prensa de Impressão [Figura 3]. Este mecanismo permitia a estampagem de ilustrações ou texto, de forma repetida, através do uso de uma matriz de madeira. Apesar de não ser o primeiro instrumento deste tipo no mundo, foi o primeiro no mundo ocidental, e acredita-se que tenha impulsionado a evolução do Corte com Matriz.

No período Pré Revolução Industrial, a indústria têxtil era ainda altamente especializada, maioritariamente manual e pouco eficiente. Isto resultava num produto caro, inconsistente e com elevado tempo de produção.

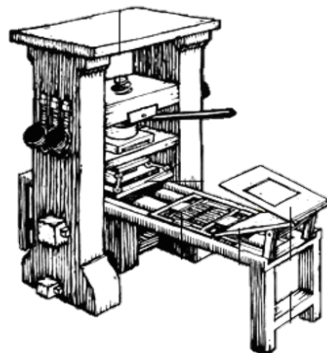


Figura 3 - Prensa de Gutenberg

Com a introdução da máquina a vapor como elemento motor de máquinas-ferramenta, surgiu um novo método de produção de têxteis e impressão, caracterizado pelo movimento de uma placa de cortantes através de um material – cabedal, tecido ou papel – contra um substrato, ou sofradeira, movido pela ação de um eixo rotativo – o Corte com Matriz ou *Die Cutting*. De um ponto de vista prático, este processo foi a mecanização da Prensa de Impressão introduzida por Gutenberg no séc. XV.

Esta nova máquina permitiu uma uniformização do produto final, um grande aumento da capacidade produtiva e também maior capacidade de personalização dos produtos, graças ao uso de matrizes de cortantes. Consequentemente, o produto tornou-se substancialmente mais abundante e mais barato. Desde a sua criação, o processo já foi adaptado a inúmeras necessidades e áreas de produção.

No entanto, este processo parece nunca ter despertado o entusiasmo da comunidade académica, já que a literatura disponível em relação ao tema é bastante limitada. O progresso que se alcançou desde a sua criação deve-se maioritariamente a empresas que se dedicam à produção de produtos através deste processo, sendo totalmente dependente de observação empírica, ajustes consoante a necessidade e *know-how* dos envolvidos.

Tipos de corte

Nos dias de hoje o processo pode dividir-se em cinco categorias, segundo o tipo de corte que se realiza [1]:

- Corte total – O material é penetrado na totalidade, ocorrendo separação (Figura 4 - a));
- Corte de uma camada – O material que se pretende cortar, é separado, mas fica unido por algum tipo de material de base (unidos, normalmente, por algo adesivo)(Figura 4 - b)).
- Corte parcial – O material é penetrado pela lâmina, mas esta não atravessa mais de metade da espessura, não ocorrendo separação (Figura 5);
- Vincagem – O material é comprimido de forma a apresentar vincos, normalmente utilizados para dobrar o material na sua montagem. Não ocorre penetração nem separação (Figura 6);
- Picotagem – O material apresenta um picotado, que facilita a sua separação posterior (Figura 7).



Figura 4 - a) Corte total b) Corte de uma camada



Figura 5 – Corte parcial

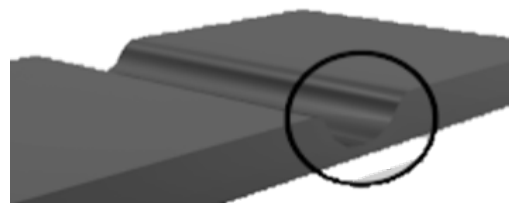


Figura 6 - Vincagem



Figura 7 - Picotagem

Este processo pode ainda aplicar-se em dois tipos de máquinas, com características bastante distintas, apesar de utilizarem o mesmo mecanismo de corte:

- Corte com matrizes rotativas – Utiliza um cilindro com cortantes para cortar o material. O cilindro comprime o material contra um outro cilindro liso, forçando a sua passagem entre eles, cortando o material com a forma da matriz de cortantes (Figura 8).
- Corte com matriz plana – Utiliza-se uma régua com cortantes (plana), montada numa prensa. A régua aplica pressão no material, contra uma placa plana – o substrato. O material é cortado pela ação dos cortantes contra a placa (Figura 8).

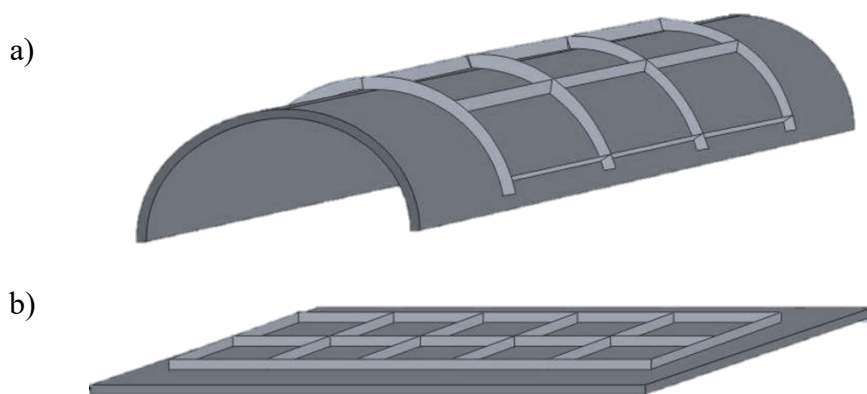


Figura 8 - a) Seção de matriz rotativa (cilíndrica); b) Matriz plana

Problemas Comuns

1- Quebra dos cortantes

Os cortantes da matriz podem partir por uso abusivo ou falta de manutenção. Se o material a cortar for demasiado espesso, pode também resultar na falha dos cortantes. Este problema só poderá ser resolvido com acondicionamento ou substituição dos mesmos.

2- Resultados inconsistentes

A falta de manutenção da máquina pode levar a resultados inconsistentes no produto bem como ao desgaste e desalinhamento dos cortantes. Para além disso, impurezas que se encontrem na zona de trabalho podem levar a falhas no corte.

3- Cortantes desalinhados

O desalinhamento dos cortantes, fruto da utilização ou por defeitos na sua produção, é determinante no sucesso e qualidade do corte. A partir de certo nível de erros pode impossibilitar a realização do mesmo.

4- Cortantes gastos ou deformados

Dependendo do grau de desgaste, o corte pode ou não ser possível. No entanto, a deformação ou desgaste dos cortantes terá sempre como resultado uma redução na qualidade do produto final.

5- Arestas "Fluffy"

Este tipo de defeito é mais comum em cartão do que em papel ou polímeros. As arestas apresentam "fios" de material, não tendo uma linha de corte perfeitamente definida. Ocorre em materiais fibrosos quando os cortantes não se encontram suficientemente afiados.

6- Desgaste extremos dos cortantes

Uma combinação de materiais cortante/substrato desadequada é uma das causas frequentes. Uma calibração incorreta entre matrizes (caso exista matriz inferior), ou desalinhamento do substrato em relação à matriz de corte (caso não exista matriz inferior), também pode levar ao desgaste prematuro dos cortantes.

7- Linhas escuras ou arestas estiradas

Arestas estiradas resultam da aplicação de uma pressão demasiado elevada. As linhas escuras ocorrem quando o material não é totalmente cortado. A falta de pressão, desalinhamento ou indentação inapropriada dos cortantes são as principais causas desse defeito, também conhecido como *creasing* (apresentado na secção anterior).

2.2.2 Corte por indentação

O processo de Corte com Matriz pode ser reduzido às interações entre os cortantes (1), o material a cortar (2) e o substrato (3) contra o qual a pressão é aplicada. De forma esquemática, pode representar-se como na imagem Figura 9.

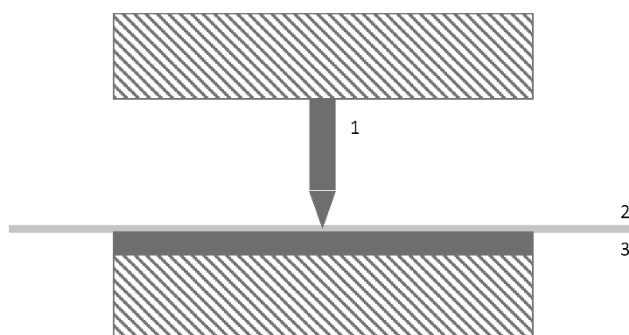


Figura 9 - Representação esquemática do Corte com Matriz
(1-Punção ou lâmina; 2-Material alvo; 3- Substrato)

O mecanismo de corte envolvido no processo é descrito na literatura como Corte por indentação. Ao longo dos anos, múltiplos autores concentraram esforços no estudo deste mecanismo. No entanto, fruto da complexidade e vasta gama de aplicações deste mecanismo de corte, este ainda não se encontra totalmente descrito e definido na literatura disponível.

No corte por indentação, uma ferramenta penetra perpendicularmente num material [1]. Para conseguir estudar de forma adequada os esforços envolvidos no processo, é necessário ter em conta os vários componentes e parâmetros existentes e relevantes para a análise.

De uma forma sucinta, é possível observar que existem 3 componentes fundamentais no processo: um cortante (ou punção), um material alvo e um substrato (ou sofrideira).

Durante o corte do material, existem deformações importantes no material alvo, no cortante e no substrato, que são determinantes, não só na qualidade do processo, mas também na eficiência e rentabilidade do mesmo.

Conclui-se, portanto, que para analisar o mecanismo de corte em estudo, será necessário aplicar conhecimentos dos campos da mecânica da fratura e da plasticidade aos vários fenômenos e componentes envolvidos no processo. Estas são áreas da mecânica relativamente "jovens", mas que foram (e têm sido) alvo de muita investigação e pesquisa, principalmente durante o séc. XX.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo deste capítulo faz-se uma breve revisão da literatura disponível sobre o processo de Corte com Matriz, o mecanismo de Corte por Indentação e os seus componentes. Não será uma revisão exaustiva, pois pretende-se apenas proporcionar uma contextualização tecnológica em relação aos temas em questão, de forma a ser possível a compreensão desta dissertação. Os conceitos de Mecânica de Fratura e a Plasticidade serão resumidos inicialmente, para familiarizar o leitor com os termos, métodos e conceitos encontrados mais à frente.

3.1 Fratura e Plasticidade

Os conceitos de análise estrutural e de esforços internos remontam ao início do séc. XIX, e aos conceitos introduzidos por Navier e Cauchy: tensão e extensão. Graças ao desenvolvimento da Teoria da Elasticidade, tornou-se possível avaliar componentes estruturais de várias formas, sujeitos a vários tipos de carregamento, através do uso do módulo de Young. No entanto, encontraram-se 2 obstáculos a essa teoria: a deformação para além da elasticidade e a ocorrência de fratura, sendo o último uma particularidade da Teoria da Elasticidade, que analisa situações limite da mesma, através de métodos matemáticos complexos.

Surgiram então, fruto das limitações da teoria da elasticidade, duas novas áreas da Mecânica: Mecânica de Fratura e Plasticidade.

A segunda guerra mundial veio impulsionar fortemente estas duas áreas. No desenvolvimento de aeronaves, armas e na análise de projéteis era fundamental o conhecimento do comportamento dos equipamentos quando sujeitos a grandes esforços e, principalmente, as condições de fratura dos mesmos. As aplicações a nível de engenharia da MFLE (Mecânica de fratura linear elástica) sofreram um grande aumento, impulsionando conseqüentemente esta área da mecânica

Paralelamente, desenvolvia-se a Teoria da Plasticidade que, com o desenvolvimento de novos métodos e materiais (mais dúcteis) de construção, ganhou popularidade, estando apenas limitado pela capacidade computacional necessária para resolver os métodos numéricos utilizados.

Inevitavelmente, no final do séc. XX, deu-se a fusão das duas áreas, principalmente por terem sido atingidos os limites da MFLE, como consequência da utilização de novos materiais na indústria e construção, com características mais dúcteis [2].

Atualmente, os métodos mais aplicados advêm das teorias desenvolvidas nesse período e da integração de conhecimentos das duas áreas, que continuam a ser alvo de estudo.

Neste capítulo pretende-se introduzir de forma um pouco mais detalhada os métodos utilizados Mecânica de Fratura e na Plasticidade, bem como enquadrar a sua relevância em relação ao tema em estudo.

3.1.1 Fratura

Fratura define-se como a separação de um material em duas partes, ou mais. Caracteriza-se pelo desenvolvimento de uma descontinuidade numa das superfícies de um sólido. A mecânica de fratura é o campo da mecânica que analisa a ocorrência e o desenvolvimento de fraturas num corpo, através de métodos analíticos.

A relevância desta matéria nesta dissertação, prende-se com o facto de, no momento do corte da película, ocorrer a criação e propagação de uma fenda (impulsionada pela lâmina/punção). Este fenómeno representa uma descontinuidade no desenvolvimento de esforços, que é usualmente analisada através da Mecânica da Fratura, mesmo quando se trata de materiais com características dúcteis.

Apesar de tanto Leonardo da Vinci como Galileo Galilei [4] terem apresentado, no seu tempo, análises aos esforços de diferentes estruturas [5] [6], os primeiros avanços nesta área, que serviram de base para as teorias de fratura modernas, são atribuídos a Griffith, durante a 1ª guerra mundial.

Griffith analisou a resistência à fadiga de uma superfície com riscos (vidro, neste caso), usando os resultados de Inglis (no seu estudo sobre a fratura de cascos de navios). No entanto, concluiu que o critério de rutura utilizado (tensão ou extensão crítica) não era adequado para prever os esforços internos no material. Motivado por estes resultados, aplicou pela primeira vez uma abordagem energética ao mesmo problema. Concluiu que existia uma quantidade de trabalho mínima necessária para produzir uma fratura. Esta análise seguia a mesma linha da teoria de elasticidade de energia potencial mínima, desde que se considerasse a energia potencial da superfície, bem como as outras energias potenciais no sistema. Para além disto, Griffith foi o primeiro a concluir que a tensão crítica de rutura dependia de um fator de escala, neste caso, o comprimento da fratura [3].

Apesar de os resultados de Griffith terem sido confirmados, a sua teoria não foi muito relevante na engenharia – consequência do material estudado e das suas características frágeis.

Foi Orowan que generalizou a teoria de Griffith a outros materiais, menos frágeis, analisando a deformação plástica do aço [7].

Irwin aplicou os resultados de Orowan e concluiu que a energia utilizada na deformação plástica podia ser estimada. Impulsionado pelas suas conclusões, desenvolveu a MFLE (Mecânica de Fratura Linear Elástica), definindo parâmetros práticos de análise – Fator de intensidade de tensões e Taxa de liberação de energia – e 3 modos de fratura fundamentais (ilustrados na Figura 10). No entanto, a MFLE abrange apenas materiais frágeis ou pouco dúcteis [8].

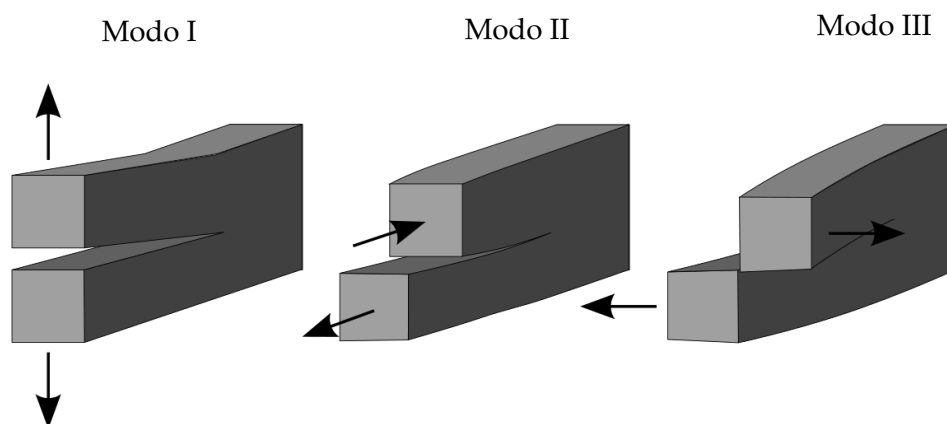


Figura 10 - Modos de fratura

Os avanços de Irwin permitiram que a Mecânica de Fratura se tornasse um tema relevante e amplamente estudado na comunidade científica, graças à sua simplicidade e às suas aplicações práticas. Por isso, apesar de muito do seu trabalho utilizar como base os resultados de Griffith, Irwin considera-se, para efeitos práticos, o “pai” da Mecânica de Fratura [3].

Como grande parte dos materiais utilizados na segunda metade do séc. XX apresentavam características dúcteis, esta análise, ainda que correta e bastante útil, mostrava-se pouco adequada. Era necessário integrar o conceito de plasticidade na análise dos materiais, outra área da mecânica em desenvolvimento na mesma altura. Desta união resultou a MFEP (Mecânica de fratura Elasto-Plástica), que é uma extensão da teoria original, mas que integra parâmetros que caracterizam o comportamento plástico dos materiais [9].

Em 1961, Wells apresentou um novo parâmetro CTOD (*Crack tip Opening Displacement*) que se relaciona com K (fator intensidade de tensões) e que abrange os efeitos da plasticidade do material. Rice, em 1968, desenvolveu o Integral-J, que permite caracterizar totalmente o desenvolvimento da fratura.

Atualmente, a análise da fratura continua a realizar-se com base nestes avanços, recorrendo, no entanto, a tecnologias e métodos matemáticos mais modernos, que produzem resultados cada vez mais precisos, mesmo em estruturas de grande escala.

3.1.2 Plasticidade

O estudo da plasticidade dos materiais considera-se uma área relativamente nova da Mecânica, principalmente quando comparada com a elasticidade. O principal motivo que impulsionou o estudo deste comportamento foi a necessidade de conhecer o comportamento dos materiais, quando ultrapassado o limite de elasticidade dos mesmos. Será que se comportam como um sólido ou como um fluido? E será que esse comportamento depende das condições de carregamento [10]?

Aquele que se considera o pioneiro do estudo da plasticidade, Henry Tresca, focou-se em descobrir se haveria um critério simples e único que pudesse ser definido, de forma a caracterizar o “estado físico” do material [11]. Nesta busca observou que quando um sólido se encontra na fase plástica, existe um valor fixo para a tensão de corte do mesmo. Esta foi a primeira condição de cedência estabelecida para materiais sólidos [12].

Com os contributos posteriores de Barré Saint-Venant e Maurice Lévy, que acrescentaram condições de plasticidade de um material ao inicialmente identificado por Tresca, estabeleceram-se as bases da Teoria da Plasticidade [10].

No entanto, as dificuldades matemáticas desta teoria, associadas à inexistência de aparelhos de cálculo, não permitiram que fosse aplicada na prática, durante aproximadamente 30 anos.

Numa tentativa de simplificação da teoria, em 1913, Von Mises substituiu o critério de cedência de Tresca por uma condição com as tensões principais. Esta nova condição foi explicada e desenvolvida por Heinrich Hencky em 1924 e veio substituir a até então aceite Lei da Deformação, estabelecida por Saint-Venant e Lévy.

Também Hencky, no ano anterior a essa publicação, 1923, seguindo sugestões de Prandtl e Nádai sobre as características geométricas das tensões de corte principais, definiu o conceito de *slip-line* ou linhas de escorregamento. Este trabalho, juntamente com os contributos de V. Mises e Prandtl, estabeleceu uma nova teoria da plasticidade – a *Slip-Line Theory*.

Pouco tempo depois, fruto da aceitação desta nova teoria, várias generalizações e novas condições foram apresentadas por vários autores, nomeadamente Prager e Geiringer. Também nesta altura, Schmidt e Oqvist estudaram pela primeira vez os efeitos do encruamento do material, quando sujeito a tensões uniaxiais.

Com o início da 2ª Guerra Mundial, surgiu uma nova vaga de interesse em relação à teoria da plasticidade, pela necessidade de estudar esforços em canos de armas, em equipamentos blindados e na aviação, no geral.

Em 1950, Rodney Hill agregou e aplicou os progressos realizados na área da plasticidade até então e publicou o livro *Mathematical Theory of Plasticity*, que rapidamente se tornou o standard da Mecânica da Plasticidade.

Também em 1950, o método de Elementos Finitos foi desenvolvido para analisar estruturas de aviões. Nesta fase, este método apenas era aplicado para análises elásticas.

Foi apenas em 1967 que Marcal e King publicaram um artigo com uma extensão do MEF para análises elasto-plásticas.

Até esta altura, todas as análises realizadas tinham como foco apenas pequenos deslocamentos, não contemplando grandes deformações do material – isto devia-se principalmente ao facto de se estudarem materiais metálicos, com características frágeis. Deve-se a Rice e a McMeeking o início da aplicação do MEF a grandes deformações.

Desde a aplicação do MEF ao estudo da plasticidade, não se desenvolveram novas teorias ou métodos de análise de plasticidade. Os autores têm-se focado em validar e melhorar o trabalho já realizado até aqui, de forma a melhorar os processos de fabrico de materiais com características dúcteis, cada vez mais utilizados na Indústria.

3.2 Corte por indentação

No Corte com matriz, um cortante avança perpendicularmente em relação a um material alvo, penetrando no mesmo. Este tipo de corte é normalmente realizado com um substrato por baixo do material alvo. Na literatura, o avanço de um cortante/lâmina perpendicularmente em relação a um material, descreve-se como Corte por Indentação [13].

Nesta secção apresenta-se a literatura relevante encontrada para os diferentes componentes (cortante, material alvo e substrato) envolvidos neste mecanismo de corte.

3.2.1 Cortante

Apesar de um grande número de autores se ter dedicado ao estudo do corte por indentação, não existe um consenso generalizado sobre a influência direta das características físicas e geométricas da lâminam nos esforços envolvidos no processo de corte, na qualidade do mesmo ou na durabilidade das ferramentas. Neste capítulo apresenta-se um breve resumo dos trabalhos disponíveis à data, em que os autores investigaram algumas destas características, bem como a sua relação com os esforços e deformações que se desenvolvem durante o corte.

Várias técnicas foram utilizadas no estudo da interação entre a ferramenta de corte e um material alvo. Nestas incluem-se modelos matemáticos – baseados nos esforços, velocidade, tensões e extensões – desenvolvidos a partir das teorias elementares de fratura e plasticidade. Para além destes, métodos de análise por elementos finitos e por planos de escorregamento foram também utilizados de forma a prever a interação ferramenta-material tanto a nível macro como microscópico [13].

Hill, no seu trabalho sobre plasticidade, abordou o problema de indentação de uma lâmina de aço, lubrificada com vaselina, num bloco de chumbo, de um ponto de vista bidimensional [14]. Neste estudo, Hill analisou todo o movimento da lâmina através do material, contemplando a contínua alteração da superfície e o desenvolvimento do escoamento plástico. Posteriormente comparou os seus resultados teóricos, ilustrados na Figura 11, com resultados experimentais, comprovando que o seu método previa de forma satisfatória a deformação do bloco. O resultado das experiências pode ser observado na Figura 12.

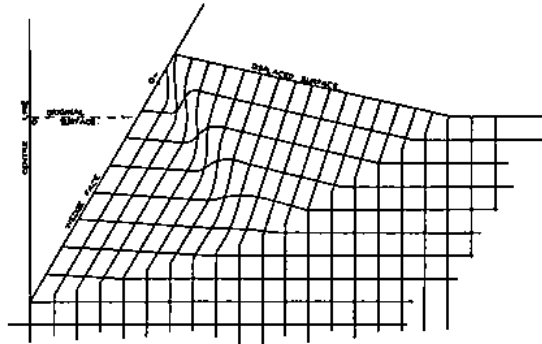


Figura 11 - Deformação da malha do bloco

Foi também possível observar a ocorrência da formação de um “lábio” adjacente à lâmina, com um volume aproximadamente equivalente àquele ocupado pela lâmina, sob a superfície do material. Na Figura 13 é possível observar a representação esquemática das zonas plástica e rígida (de acordo com a Teoria das Linhas de Escorregamento), em torno da lâmina e também o “lábio” formado pela penetração da mesma. Para além disso, apresentou também, graficamente, a evolução da pressão de corte P , com o semiângulo da lâmina β , representado na Figura 14.



Figura 12 - Resultados experimentais (as linhas brancas representam uma aproximação da zona plástica)

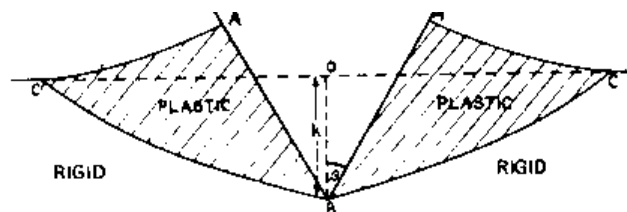


Figura 13 - Esquemática da indentação com lâmina (com pile up)

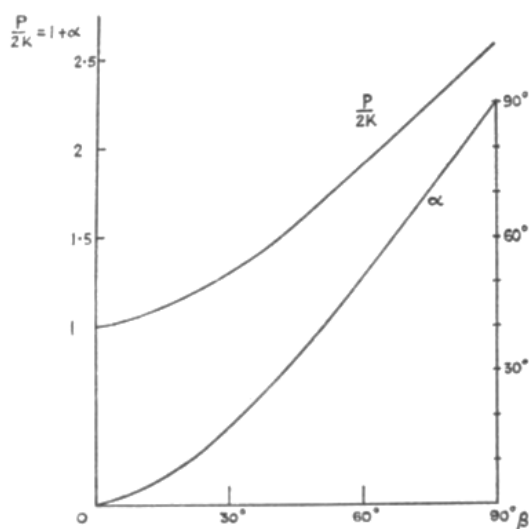


Figura 14 - Variação de pressão normalizada, $P/2K$, com o semi-ângulo da lâmina, β

Na literatura relevante encontrada, o corte por indentação apenas voltou a ser motivo de estudo em 1996, quando Arcona e Dow, usando o modelo proposto por Hill [14], estudaram o corte de películas de PET e Acetil-Butirato e propuseram uma expressão para o cálculo da força de corte de polímeros, que relaciona os ângulos da lâmina e o raio do fio de corte, com as forças envolvidas no processo. Sugerem ainda que a afiação da lâmina e a velocidade do corte são duas das características mais importantes no processo de corte em estudo (note-se que neste estudo, o tipo de corte realizado se descreve, em inglês, como *slitting*) [15]. Concluíram que as forças necessárias para cortar os materiais estudados eram afetadas pelo raio do fio de corte, e que uma redução deste conduzia a uma redução das forças de corte, como se pode observar na Figura 15. Para além disso, identificaram uma relação entre a força e a velo-

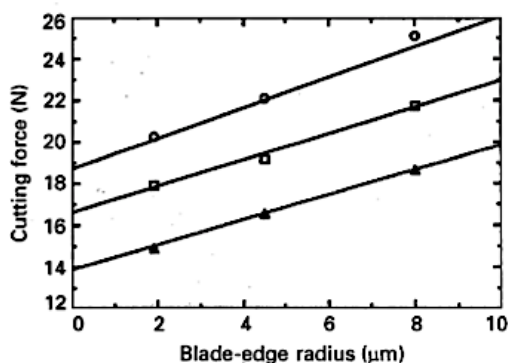


Figura 15 - Força de corte vs Raio fio de corte

cidade de corte como se mostra na Figura 16. Apesar de não se observar a linearidade desta relação, os resultados mostram que a força de corte reduz substancialmente com o aumento da velocidade de corte, tal como a área do "lábio" formado durante o processo. A Figura 17 mostra a relação entre o "lábio" formado e a velocidade de corte. Isto reflete a tendência dos

materiais de apresentar deformação plástica a velocidades de corte reduzidas e de apresentarem um comportamento mais frágil quando sujeitos a velocidades de corte mais elevadas, uma variável pouco estudada, já que a maior parte dos estudos até à data se focavam em materiais com características pouco dúcteis.

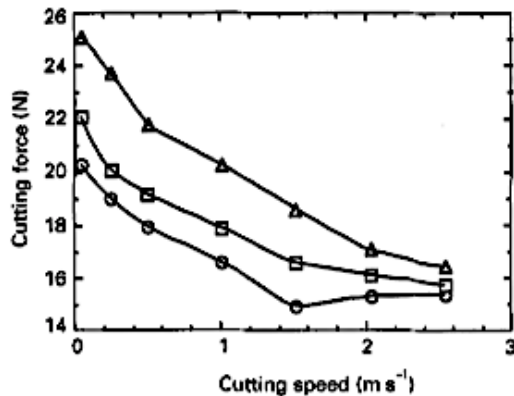


Figura 16 - Força de corte vs Velocidade de corte

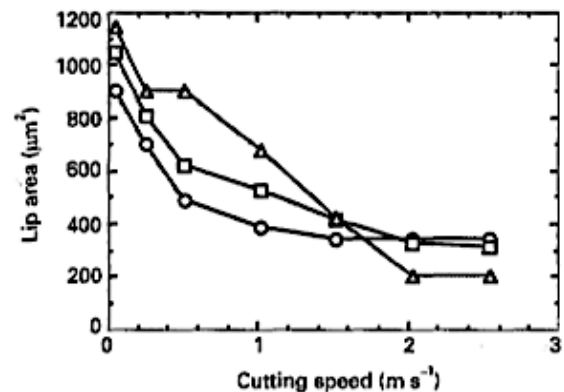


Figura 17 - Área do "lábio" vs Velocidade de corte

Também em 1996, Balevi, num trabalho sobre as características de uma cureta periodontal (aparelho de ortodontia), categorizou as lâminas de acordo com o seu grau de desgaste e de defeitos [16], criando o ponto de partida para a caracterização de ferramentas de corte deste tipo:

Gume afiado: Lâmina nas condições ideais, sem características de desgaste ou deformações;

Gume gasto: Lâmina que apresenta desgaste ou que não apresenta o acabamento adequado;

Gume rombo: Lâmina romba/arredondada que apresenta mais do que uma secção de corte.

Ciavarella et al, em 1997, avaliaram os efeitos do arredondamento do fio de corte [17], confirmando que não é realista considerar uma lâmina perfeitamente afiada, já que resulta (matematicamente) num campo de esforços singular, sem resistência ao contacto. Propuseram, portanto, que esse estado de tensão é aliviado pela existência de um raio do fio de corte (por muito ínfimo que seja), que permite definir uma zona de contacto entre a lâmina e o material. Na Figura 18 apresenta-se um diagrama da indentação, com arredondamento do fio de corte, e da respetiva zona de contacto.

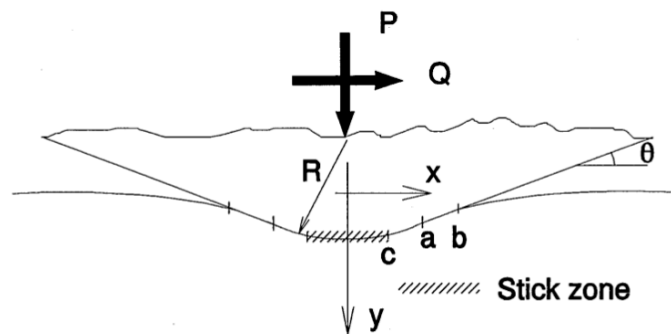


Figura 18 - Diagrama da Indentação de um punção cônico com arredondamento do fio de corte

Este fenómeno foi confirmado por Chiaia, no seu estudo sobre o mecanismo de fratura na indentação de materiais frágeis [18]. Neste trabalho o autor tenta estabelecer uma relação geral para o processo de corte de materiais quasi-frágeis, através de um mecanismo de fricção simples, pelo esmagamento plástico e através da MFLE. Mais uma vez, utiliza-se a Teoria de Planos de escorregamento para prever a reação do material à indentação, como se representa na Figura 19.

Segundo o autor, para o caso de indentação de materiais frágeis, distinguem-se 3 regiões onde o material apresenta comportamentos mecânicos diferentes (Figura 20):

- Núcleo hidrostático – imediatamente por baixo da lâmina;
- Zona de grandes deformações – em torno do núcleo hidrostático;
- Material elástico.

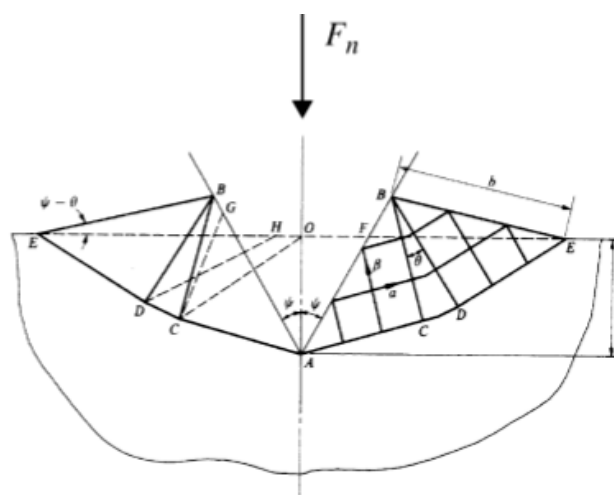


Figura 19 - Linhas de escorregamento na indentação com lâmina

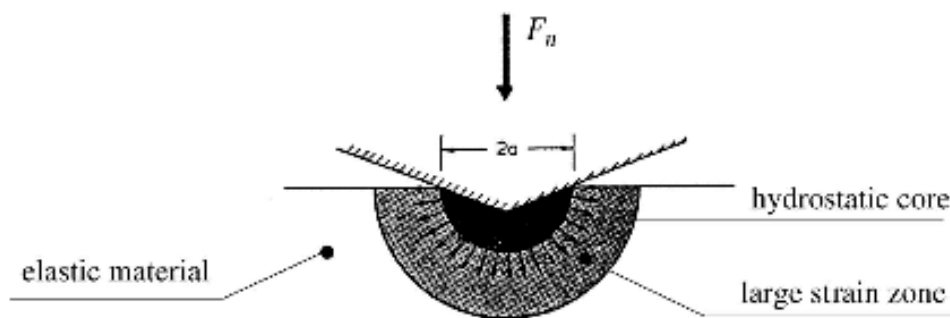


Figura 20 - Formação de núcleo hidrostático e zona de grandes deformações

Chiaia conclui que no caso da indentação de materiais frágeis, a performance do corte melhora com a redução da componente de esmagamento.

Conclui-se ainda que a força necessária para perfurar o material reduz com a profundidade de penetração, como se mostra na Figura 21, e que punções/lâminas de maior dimensão apresentam uma maior eficácia no corte (Figura 22). No entanto, necessitam de uma maior força aplicada. A escolha dos punções/lâminas resulta, portanto, de uma combinação entre a potência do equipamento utilizado, a resistência do material alvo e a capacidade de corte da ferramenta.

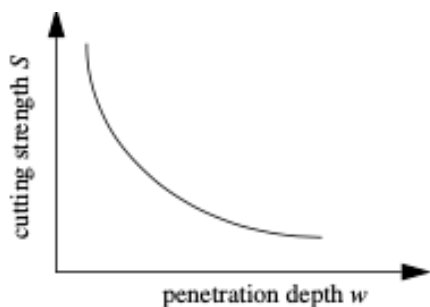


Figura 21 - Relação entre tensão de corte e profundidade de penetração

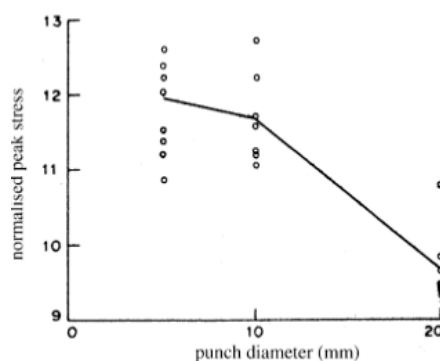


Figura 22 - Relação entre Esforço máximo e Diâmetro do punção

Ciavarella e Hills, estudaram também o efeito do raio do fio de corte em materiais frágeis [19]. Neste estudo utilizaram-se dois tipos de punção – cônico e plano – de forma a estudar os esforços que se desenvolvem em torno do mesmo (Figura 23). Observaram que, no caso do punção cônico, o campo de tensões radiais, que promove a iniciação e propagação de fendas, não é afetado pela afiação do cone, indicando que desde que o cone não seja demasiado afiado, a deformação plástica sob o mesmo é negligenciável, originando este a indução de um estado plano de tensões no material alvo. No caso do punção plano, o campo de tensões não tem um comportamento previsível, pelo que a interpretação de resultados é particularmente difícil.

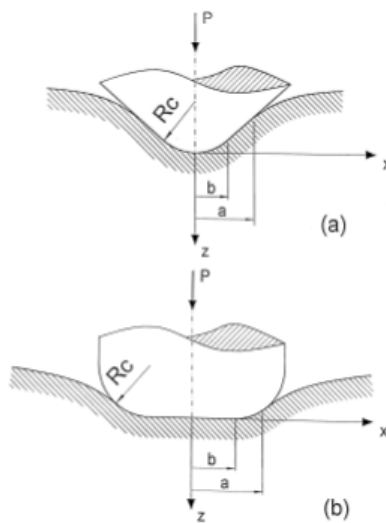


Figura 23 - Ilustração Punções: a) cônico; b) plano

Em toda a literatura apresentada anteriormente, os autores revelam uma relação íntima entre o raio do fio de corte e as forças envolvidas no processo. No entanto, não havia uma noção generalizada de como quantificar a afiação da lâmina, nem como esta quantificação se poderia relacionar com a força de corte.

McCarthy et al, em 2006, tentaram encontrar uma solução para este problema [20]. Através da relação entre a energia necessária para perfurar o material, a resistência à fratura e a espessura do material a cortar, definiram um novo parâmetro para quantificar a afiação de lâminas: *Blade Sharpness Index* (BSI). Este índice pode aplicar-se na análise do corte de materiais dúcteis. Uma lâmina perfeitamente afiada terá BSI a tender para 0, contrariamente a uma lâmina cada vez mais romba, que terá o BSI a tender para 1.

Para além da sua definição, num trabalho subsequente, foi possível estabelecer as seguintes relações entre certas características geométricas e o BSI, através da análise por elementos finitos (Figura 24 e Figura 25) da indentação de uma lâmina num substrato [21]:

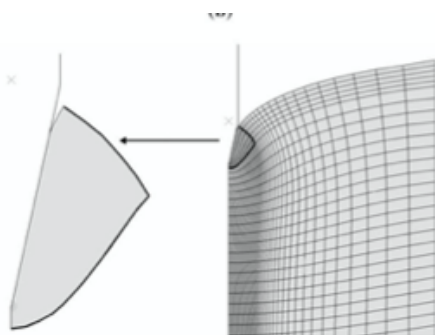


Figura 24 - Malha de elementos finitos afetada pela indentação da lâmina

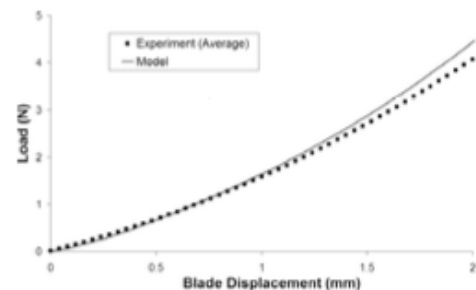


Figura 25 - Comparação entre experiência e modelo computacional

- O BSI reduz com a redução do raio do fio de corte (Figura 27);
- O aumento do ângulo de ataque da lâmina aumenta o BSI (Figura 26):
- Das variáveis estudadas, o BSI revelou-se mais sensível ao raio do fio de corte.

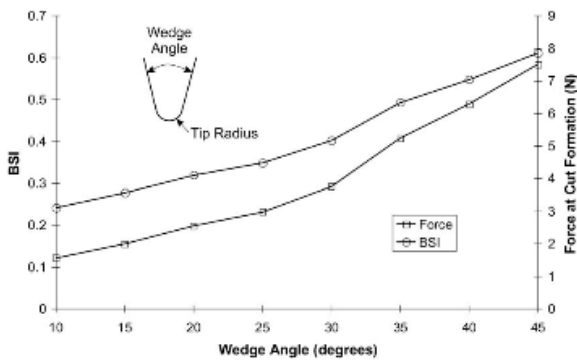


Figura 26 - Relação entre BSI e ângulo de ataque da lâmina em graus

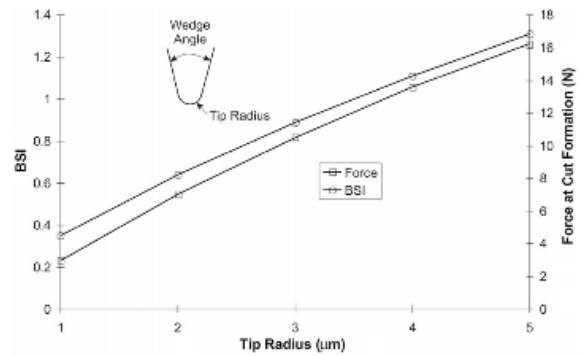


Figura 27 - Relação entre BSI e raio do fio de corte

Mais recentemente, em 2017, Semenov et al propuseram um novo modelo simplificado de cálculo da força de corte por indentação de uma lâmina ideal (perfeitamente afiada) e não-ideal (sem fio de corte), simétrica (30°) e assimétrica (30°/60°), em função da profundidade de corte e do coeficiente de atrito [22]. Submeteram-se provetes de aço à indentação com um punção em forma de cunha, de forma a estabelecer uma base de comparação com o modelo. Os resultados obtidos através do modelo foram concordantes com aqueles obtidos pela análise por Elementos Finitos e também com os resultados experimentais, como se pode verificar na Figura 28.

No Japão, “do outro lado do mundo”, desde a viragem do milénio, um grupo particular

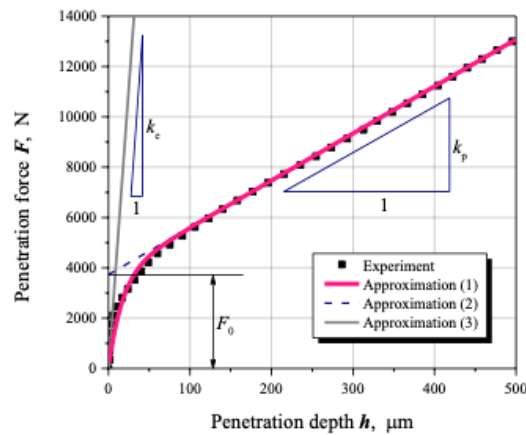


Figura 28 - Comparação dos resultados obtidos experimentalmente e por simulação por Elementos Finitos da indentação com uma cunha truncada

de autores tem focado o seu estudo no corte por indentação, aplicado diretamente ao Corte com Matriz.

Em 2003, Murayama et al. investigaram a influência da espessura da película alvo e do atrito entre o cortante/material, na resposta em carga do cortante, no corte por indentação [24]. De forma a simular o desgaste/esmagamento do fio de corte, o cortante foi modelado com uma forma trapezoidal (Figura 29). Este trabalho é de grande relevância, pois estabelece

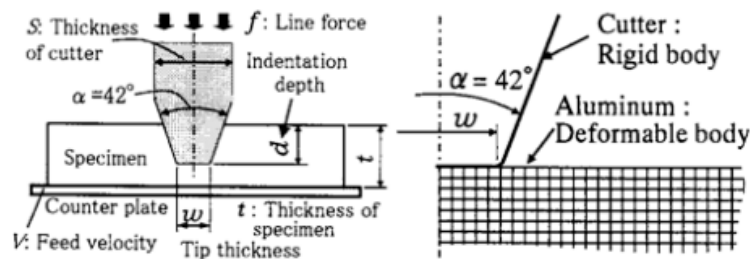


Figura 29 - Esquemática da indentação com lâmina trapezoidal e malha de Elemento Finitos

bases teóricas para a análise dos esforços e fenômenos que ocorrem durante o corte por indentação. Para além do procedimento experimental, os autores apresentam também a modelação do problema segundo a *Slip-Line Theory* e também através do MEF.

Na Figura 30 e na Figura 31 apresentam-se os resultados obtidos: experimentais (a), teóricos (b) (recorrendo à *Slip-Line Theory*) e computacionais (c) (MEF). Note-se que a partir do ponto de f_{max} ocorre a separação da película ou, nalguns casos, verifica-se que numa espessura residual, por baixo do cortante, onde não ocorre separação.

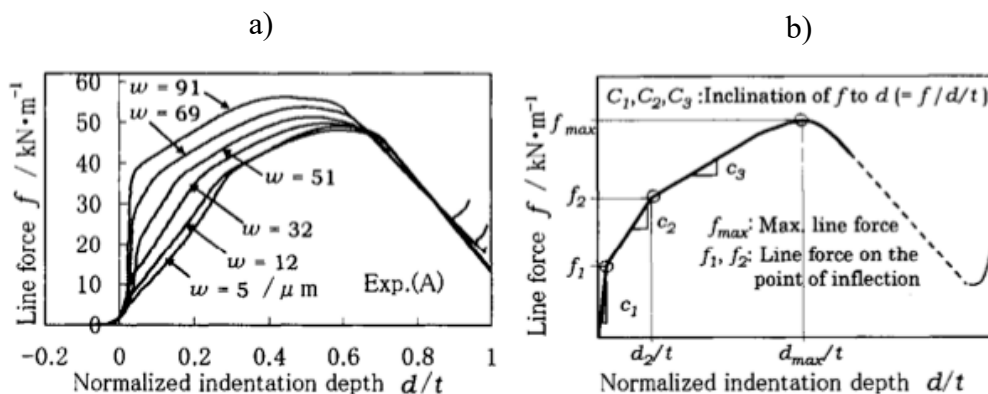


Figura 30 - Resultados experimentais (a) e segundo a Slip-Line Theory (b)

c)

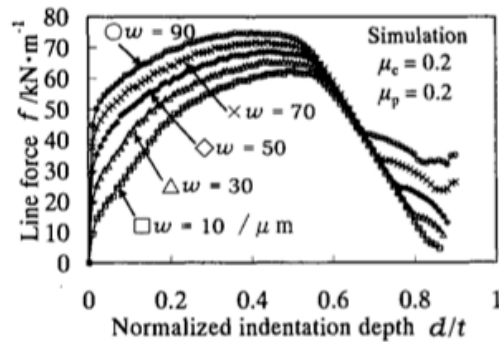


Figura 31 - Resultados da simulação numérica

Com base nestes resultados, e nos trabalhos existentes até à data, os autores distinguem 4 fases com características distintas no processo:

-*Pressed stage* (C1): Caracteriza-se pela compressão do material entre o cortante e o substrato, sem ocorrer penetração. É possível calcular C1 pela simulação por elementos finitos. No caso do ponto de inflexão ($f_1, d_1/t$), a solução de Hill para o problema de indentação com um punção plano apresenta-se como uma boa aproximação (Equação 1). C1 apresenta linearidade em relação à espessura do fio de corte (w) (Figura 32).

Equação 1- Relação entre força de indentação P e o deslocamento u_z (C1) segundo Hill

$$P = C \frac{\pi \cdot E \cdot w}{2(1 - \nu^2)} u_z$$

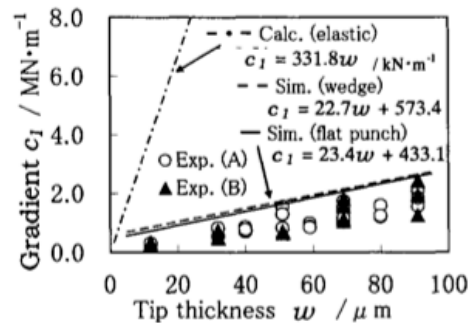


Figura 32 - Relação entre espessura do fio de corte e C1

-*Pushed stage* (C2): Fase de penetração do cortante no material. O gradiente C2 pode ser calculado através da *Slip-Line Theory*, para a indentação de um punção num corpo semi-infinito. Nesta fase, se o ângulo da lâmina do cortante se mantiver, a variação da espessura do fio de corte do mesmo torna-se praticamente negligenciável. Na Figura 33 apresenta-se o modelo utilizado na análise.

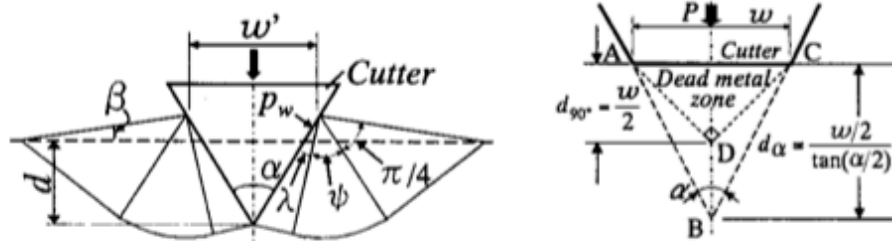


Figura 33 - Modelo da indentação com lâmina

-*Penetrated stage* ($f_2, d_2/t$): O ponto de inflexão ($f_2, d_2/t$) surge numa profundidade crítica, onde não se pode assumir o material como um corpo semi-infinito, já que a espessura do material é finita. Essa profundidade relaciona-se com a espessura do material e a área de contacto do cortante. A partir de d_2 , o efeito do coeficiente de atrito sob a película torna-se relevante. Note-se que, nesta fase, quando a espessura, w , aumenta, a profundidade crítica d_2/t , diminui, como se ilustra na Figura 34. No entanto, não se observa dependência de f_2 em relação a w .

-*Necked stage* (f_{max}): Perto do ponto de carga máxima, f_{max} , C3 atinge o seu ponto de saturação, fruto dos esforços laterais que afetam o material. À medida que a espessura de material por baixo do cortante reduz, esses esforços sofrem um aumento significativo. Este fenómeno parece ser causado pelo “*dead metal effect*” que ocorre por baixo do cortante, como indicado na Figura 33. Isto leva à ocorrência do fenómeno de *necking* Figura 35,

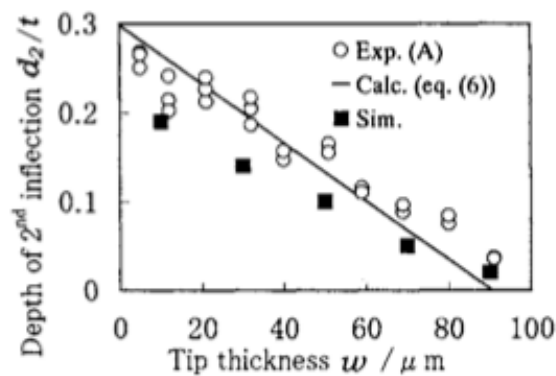


Figura 34 - Relação entre 2º ponto de inflexão e espessura do fio de corte

em que o material se “eleva” do substrato, por baixo do cortante. A linha de força máxima, f_{max} , nesta fase, depende de w e do coeficiente de atrito entre o material e o substrato.

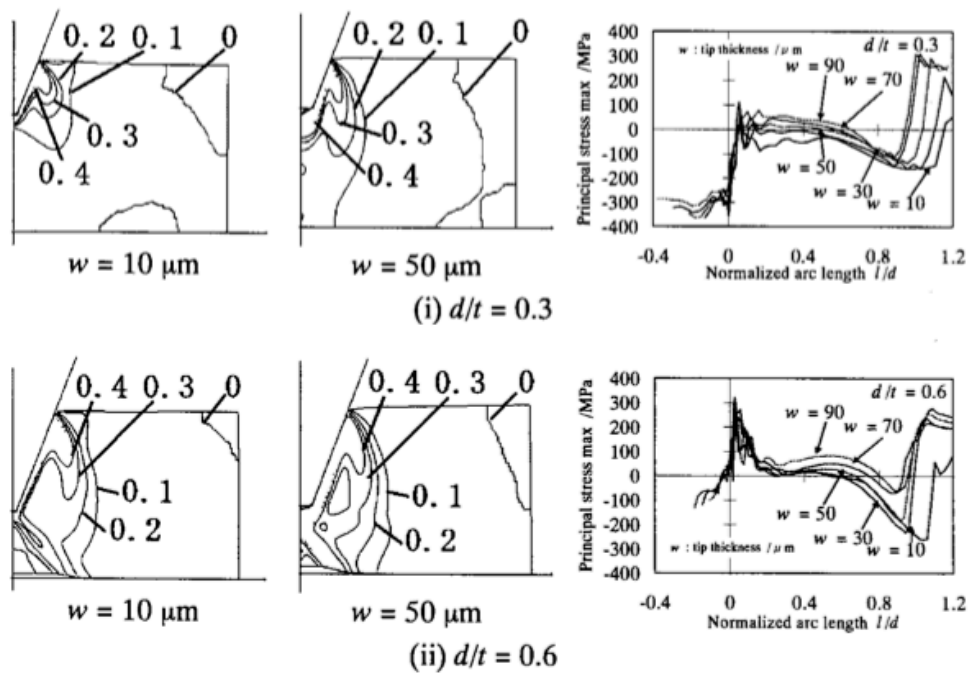


Figura 35 - Contornos de extensões plásticas equivalentes e Tensão principal máxima, segundo MEF

No trabalho descrito anteriormente, os autores focaram o seu estudo no desenvolvimento do corte até uma profundidade crítica. Num trabalho posterior, com o objetivo de identificar a relação fundamental entre a espessura do cortante e a espessura da película, os autores descrevem o corte depois dessa profundidade crítica (onde se regista a ocorrência de *necking*) [1]. Na Figura 36 apresenta-se o modelo de resposta em carga ao longo de todo o corte, e na Figura 38 os resultados obtidos experimentalmente. Na Figura 37 representa-se a esquemati-

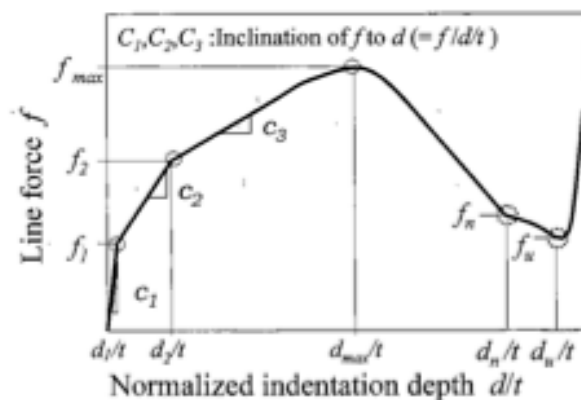


Figura 36 - Modelo da resposta em carga durante a indentação

zação da formação do fenómeno de *necking*. As principais conclusões deste estudo foram:

-A ocorrência de necking depende da espessura da película, t , e da espessura do cortante, w . Existe uma espessura do cortante, w_{lim} , que se revela crítica na ocorrência de *necking*, para cada t .

-O ponto de inflexão f_n não depende da espessura da película, t , mas depende da espessura do fio de corte, w .

-Quando f é um mínimo local, f_u , a espessura residual da película sob o cortante, t_r , depende de w . Existe uma espessura do cortante crítica, w_{cr} , que permite, ou não, a separação do material. Na Figura 39 apresenta-se a relação entre a espessura residual, t_r , a linha de força mínima, f_u , e a espessura do cortante, w .

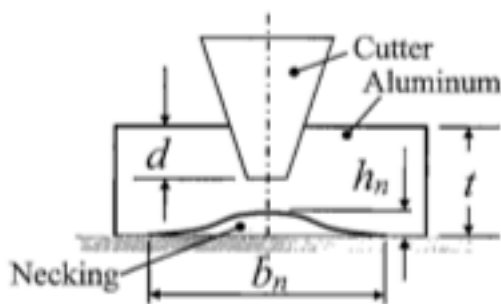


Figura 37 - Esquemática do fenômeno de necking

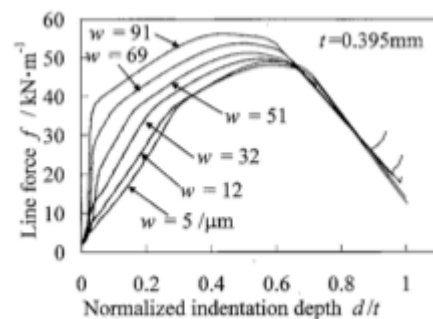


Figura 38 - Resultados experimentais com variação de w

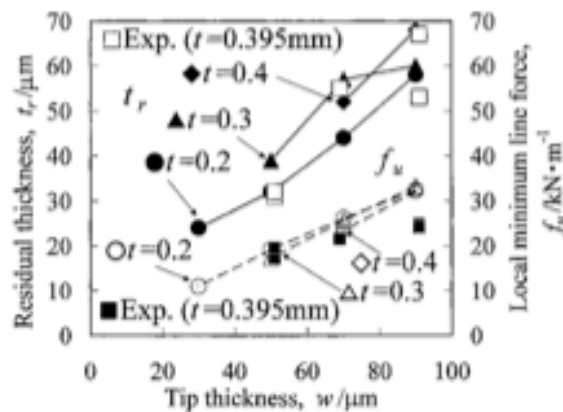


Figura 39 - Relação entre espessura residual, linha de força mínima e espessura do fio de corte

Em 2006, Chaijit et al. investigaram as condições críticas para realizar o corte total de chapas de alumínio, com uma lâmina trapezoidal [23], concluindo que existia um valor de w/t ($=0.28$) a partir da qual não ocorre separação do material (confirmando os resultados do estudo apresentado anteriormente). Neste trabalho desenvolve-se uma análise extensa da ocorrência de *necking* e das condições necessárias para a separação total do material. Na Figura 40 apresentam-se os resultados experimentais, categorizados segundo a probabilidade de separação total do material.

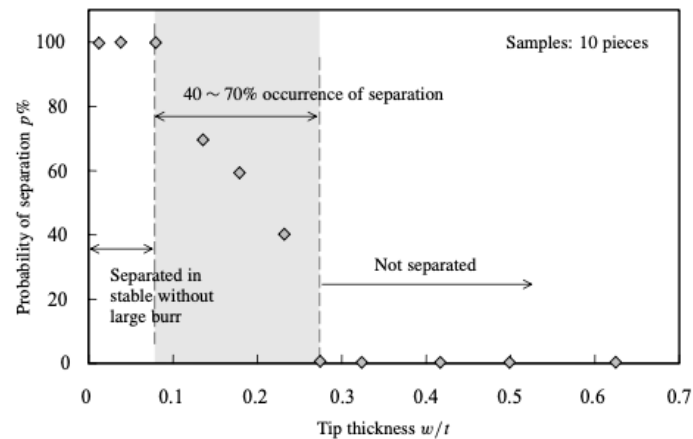


Figura 40 - Probabilidade de separação (resultados experimentais)

Com base nos resultados obtidos e na análise realizada, os autores identificaram 4 padrões de perfil de corte, em função da espessura do cortante normalizada, w/t , como se mostra na Figura 41.

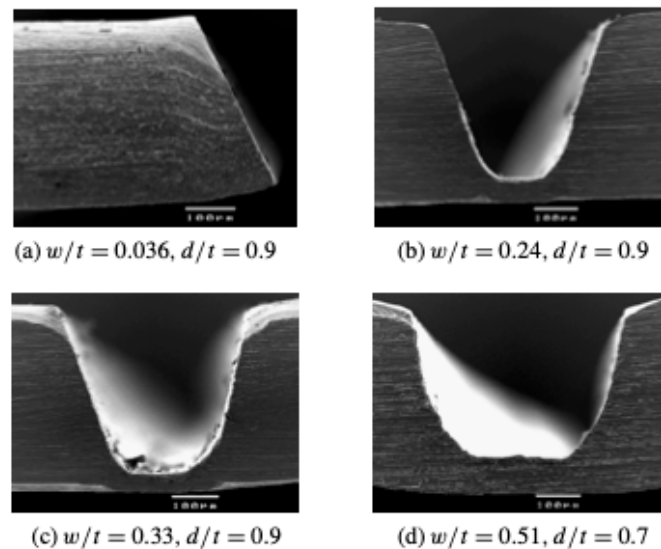


Figura 41 - Secção de corte da chapa de alumínio (experimental)

Hamid et al. apresentaram uma análise do corte com uma lâmina dupla, com um fio de corte temperado e uma cunha de encosto dúctil [24], como se ilustra na Figura 42. Para além de terem confirmado resultados já obtidos em relação à evolução da força com o ângulo de

ataque da lâmina, num trabalho posterior, submeteram essa mesma lâmina a uso contínuo, de forma a avaliar a sua deformação [27]. Foi possível concluir que a cunha dúctil permitia a ocorrência do fenómeno de *self-shimming* em elevadas linhas de carga, que possibilita o ajuste de pequenos desalinhamentos no processo e promove a deformação da lâmina na zona não temperada, protegendo o fio de corte temperado, mantendo a afiação do mesmo.

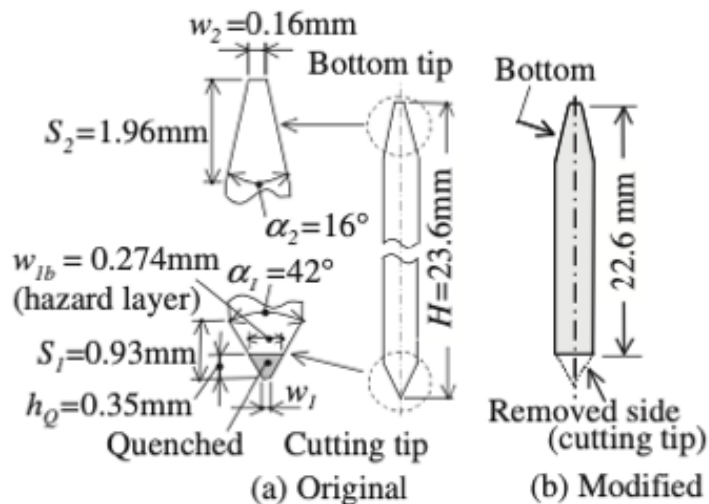


Figura 42 - Perfil da lâmina utilizada

3.2.2 Material alvo

No projeto em estudo, há mais do que um material a ser cortado pela prensa pneumática – um tipo de papel, uma espécie de esponja e um polímero.

Apenas com um conhecimento básico sobre características mecânicas dos materiais, é possível concluir que dos 3 materiais referenciados, aquele que se revelará crítico no projeto é o polímero de alta resistência – neste caso, LDPE. Por este motivo, neste capítulo, o foco serão os estudos realizados em materiais com características dúcteis e materiais poliméricos.

Sobre a caracterização de materiais em relação às suas características mecânicas, existe muita literatura disponível. A maioria envolve estudos de indentação (micro e nano) de materiais, de vários tipos e com vários métodos, de forma a caracterizar os mesmos mecanicamente.

Como o objetivo do trabalho não é a caracterização do material, nesta secção apresentar-se-á apenas um pequeno resumo do conhecimento já existente sobre a influência da temperatura, do atrito e do encruamento no corte de polímeros por indentação de uma lâmina. Apresenta-se também o conceito de direção de corte em polímeros - MD e TD. A escolha destas variáveis deve-se ao facto de serem as únicas com as quais se poderá “trabalhar”, já que o material alvo é inalterável, por ser a necessidade do cliente.

3.2.2.1 Temperatura

Gent e Chi Wang, em 1996, estudaram a resistência ao corte de PE [28]. No seu trabalho, variaram a temperatura das amostras de polietileno - entre 0° e 120° - de forma a avaliar a influência desta na energia necessária para cortar o material. Observaram que tanto para o HDPE como para o LDPE, com o aumento da temperatura, a resistência ao corte diminuía. Nas Figura 43 e Figura 44 apresentam-se os resultados obtidos.

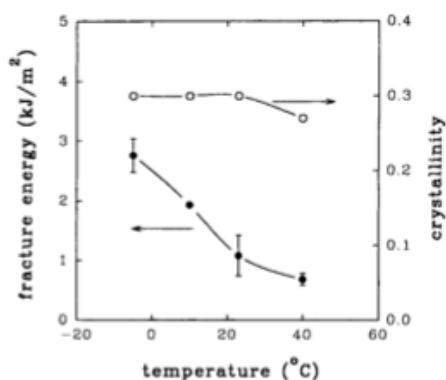


Figura 43 - Dependência da Energia de Fratura e Cristalinidade com a temperatura (LDPE)

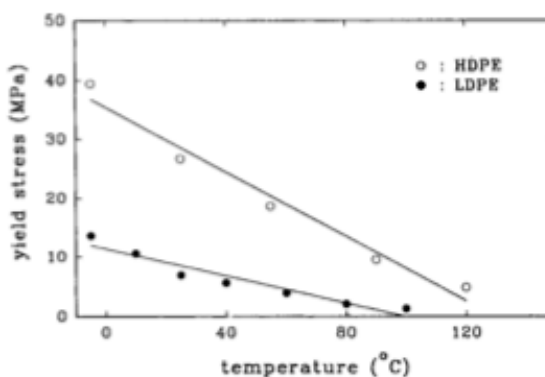


Figura 44 - Dependência da tensão de cedência com a temperatura

Meijar e Govaert [29], realizaram uma análise extensa do comportamento mecânico de polímeros. Desse estudo destaca-se a conclusão de que a dureza do material corresponde à deslocalização das extensões a que está sujeito e a confirmação de que um modelo adequado para o estudo de polímeros deve incluir os efeitos da temperatura, da velocidade de extensão e do envelhecimento do material. Os resultados obtidos que indicaram uma influência da temperatura e da distância entre partículas, na transição frágil-rígido.

Recentemente, em 2020, Nguyen e Nagasawa, num trabalho sobre as características de corte de películas Nylon – Polietileno [30], estudaram também a influência da temperatura na resistência ao corte. Neste caso, o material manteve-se à temperatura ambiente e a variação da temperatura foi induzida na lâmina de corte. Avaliou-se uma gama entre 296K e 333K (21 – 55°C). Os resultados obtidos para a evolução ao longo do corte, para cada temperatura encontram-se na Figura 45. Concluíram que a temperatura do material, na zona de corte, rapidamente alcançava a temperatura da lâmina. Para além disso, observaram também uma redução significativa na força de corte, com o aumento da temperatura da lâmina. Da gama avaliada, foi a 318K que se obteve uma melhor combinação entre a força de corte necessária para ocorrer separação do material e a qualidade das arestas de corte. A 333K já se observou um comportamento mais viscoso do material, não tendo sequer ocorrido separação, como se mostra na Figura 46.

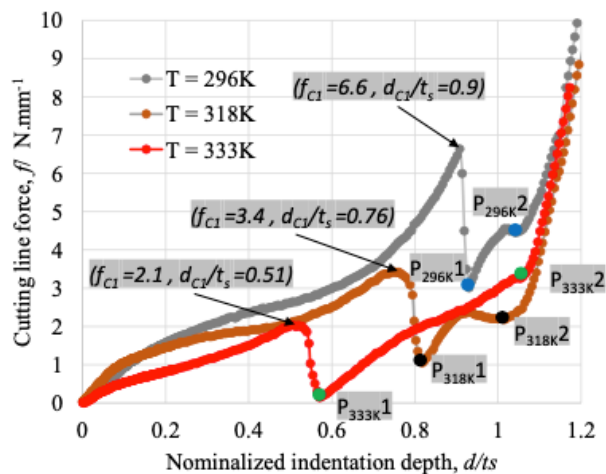


Figura 45 - Relação entre força de indentação e profundidade, para diferentes temperaturas da lâmina (296K, 318K e 333K)

(a) $T = 296K$

(b) $T = 318K$

(c) $T = 333K$

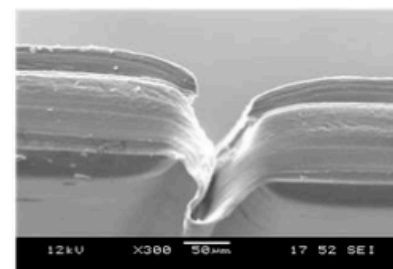
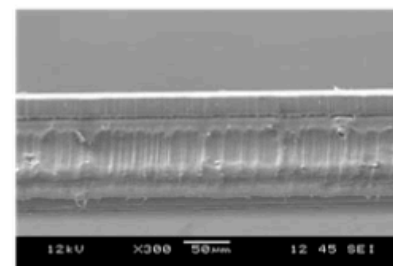
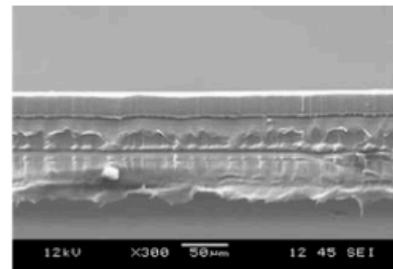


Figura 46 - Perfil de corte obtido para cada temperatura

3.2.2.2 Encruamento

No desenvolvimento das teorias de elasticidade e plasticidade, o módulo de encruamento revela-se um parâmetro importante para definir o comportamento de diferentes materiais, tendo uma importância acrescida em polímeros.

Cleveringa et al. [31], no seu trabalho onde compararam as teorias de plasticidade contínua e de deslocamentos discretos (aplicada a materiais compósitos), concluíram que o encruamento não é determinado apenas pela densidade de deslocamentos ou pela fração de área, mas também pela morfologia de reforço dos polímeros (relacionada com o fator de escala do material).

Frederiksson e Larsson, aplicaram a *Strain Gradient Theory*, desenvolvida por Gudmundson [32], em 2004, para avaliar o corte por avanço com lâmina, de películas, num substrato elástico [33]. Esta teoria contempla um fator de escala intrínseco do material que modela a estrutura molecular do mesmo. Concluiu-se que o módulo de encruamento do material determina a influência da dureza do substrato no processo de corte. Um material com um módulo

de encruamento mais elevado apresentará um maior aumento de dureza, por influência do substrato, do que um com menor módulo de encruamento.

Recentemente, Shao et al. avaliaram o encruamento em materiais com gradiente de plasticidade [34]. Os resultados obtidos sugerem que a introdução de um gradiente pode contribuir para o aumento do encruamento do material. Este encruamento promove a rigidez do material e atrasa o fenómeno de *necking*.

3.2.2.3 Atrito

Na maioria dos testes de indentação e teorias/métodos aplicados na análise do mecanismo de corte por avanço, o atrito considera-se inexistente. Isto deve-se ao facto de se utilizar algum tipo de lubrificante nas aplicações estudadas ou por se considerar desprezável na avaliação dos esforços.

No entanto, no caso em questão, não se permite a contaminação dos materiais alvo com lubrificante e, no caso do LDPE, um material polimérico, a influência do atrito revela-se importante, não só no desgaste da lâmina, mas também na força de corte.

Na literatura disponível, é possível encontrar estudos onde se avalia a ocorrência dos fenómenos de *pile-up* ou *sink-in*, que se revelam intimamente relacionados com o fator de atrito e com a espessura do material a cortar.

Murayama et al. [1] sugerem, com base nas fases de corte propostas em trabalhos anteriores, que a influência do atrito apenas se torna relevante a partir da *pushed-stage*, tendo aí um papel fundamental no modo de deformação e fratura do mesmo. Estes resultados foram concordantes com aqueles obtidos mais tarde, por Nagasawa et al. [35]. Neste estudo avaliaram-se várias combinações de coeficientes de atrito Lâmina-Material e Material-Substrato. As combinações utilizadas encontram-se na Figura 47. Revelou-se, mais uma vez, o papel fundamental do atrito, que parece controlar a força necessária ao corte (Figura 48) e a deformação das películas durante o mesmo (Figura 49).

Case	1	2	3	4	5	6	7
BL-PC μ_C	0.05	0.25	0.5	1.0	0.05	0.05	1.0
PC-UL μ_U	0.05	0.25	0.5	1.0	0.05	1.0	0.05
UL-CP μ_P	0.05	0.25	0.5	1.0	1.0	0.05	0.05

Figura 47 - Coeficientes de fricção utilizados na simulação

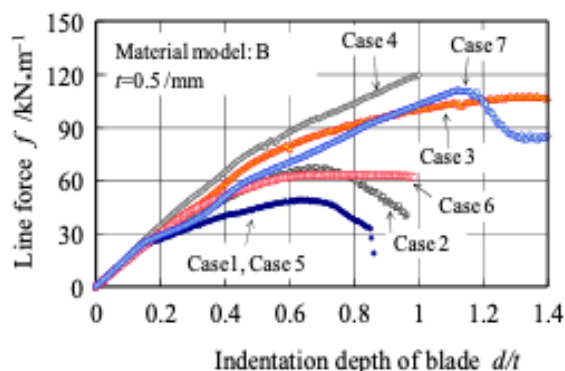


Figura 48 - Resultados da simulação por Elementos finitos da resposta em carga, para cada caso

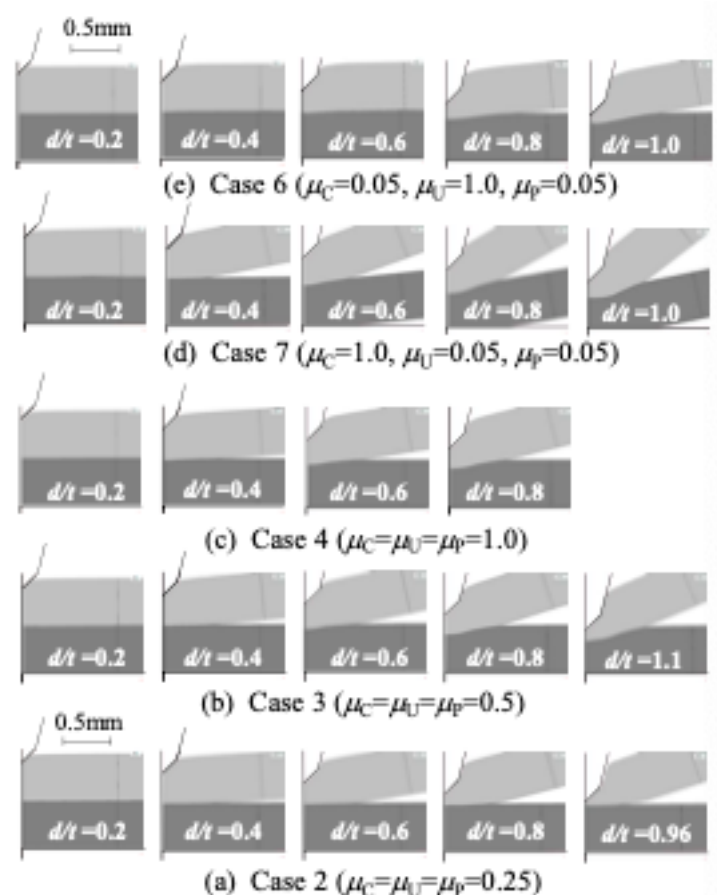


Figura 49 - Deformação das películas durante a indentação, para cada caso

No caso da avaliação do desgaste da lâmina, Budinski [36] apresentou um trabalho detalhado onde caracteriza e avalia o desgaste de punções no corte de uma película plástica, contra um substrato de aço com a superfície polida.

Nguyen e Nagasawa [30], no seu trabalho sobre o corte de películas de PA6/PE, apresentam alguns dados interessantes sobre o desgaste da lâmina aquecida durante o corte, nomeadamente o facto de a lâmina se apresentar “húmida” quando o corte se realiza a 333K. Fenómeno que se revelou muito prejudicial, já que promoveu o desgaste prematuro da lâmina.

3.2.2.4 Direção de corte

A última característica que se considera relevante no que diz respeito ao material, tem a ver com uma propriedade relacionada com o seu método de fabrico, que imprime uma orientação nas cadeias dos polímeros. Como resultado, o material apresenta uma resistência mecânica diferente, consoante a direção em que é testado.

No caso do material estudado, as cadeias longas que fazem parte da sua microestrutura têm tendência a alinhar-se em relação à direção de maquinaria (*MD – Machine Direction*). Isto torna o material mais resistente quando esforçado nessa direção, enfraquecendo-o, no entanto,

quando esforçado da direção transversa (*TD – Transverse Direction*). Na Figura 50 representam-se as duas direções, como encontradas nas bobinas de armazenamento.

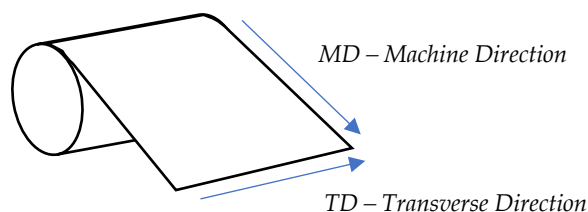


Figura 50 - Representação das direções MD e TD

3.2.3 Substrato

No processo de *Die Cutting*, o substrato utilizado revela-se fundamental no sucesso e qualidade do corte do material alvo, principalmente quando se trata de películas finas.

Zhi-Hui e Rowcliffe [37] utilizaram o MEF (Método de Elementos Finitos) para estudar a influência do substrato na medição das propriedades mecânicas de sistemas com películas finas, através de diferentes combinações – película dura/substrato dúctil e película dúctil/substrato duro. Não foi possível encontrar uma profundidade crítica universal para caracterizar uma película, sendo essa profundidade dependente da combinação utilizada. No entanto foi possível concluir que essa profundidade crítica é mais sensível às propriedades elásticas do substrato do que às propriedades elásticas do sistema película-substrato.

Nagasawa et al [38]. avaliaram o impacto da dureza do substrato no esmagamento do fio de corte e na ocorrência de *dents*, através da variação da dureza do substrato, no corte de cartão. Concluíram que no caso de substratos menos duros, a ocorrência de *dents* comprometia a qualidade e mesmo o sucesso do corte. Ainda assim, verificou-se que no caso do substrato com dureza intermédia, a formação de *dent* (desde que pequena), promove a distribuição de forças ao longo do fio de corte, compensando pequenos desalinhamentos do cortante. Para além disso, verificou-se que o desenvolvimento da *dent* da deformação da lâmina acontece de forma progressiva, para substratos menos duros, e de forma mais abrupta, em substratos mais duros. No caso dos substratos mais duros (378HV e 510HV) verificou-se ainda que a deformação da lâmina atingia um limite máximo quando $n=100-200$.

Um estudo posterior, por Chaijit et al. [39], sobre a influência da combinação da dureza lâmina/substrato, revelou que a deformação total da lâmina e do substrato se revela praticamente independente da escolha dos materiais. No entanto, a altura de esmagamento e a profundidade das *dents* dependem da combinação de materiais utilizados. Para além disso destaca-se a conclusão de que a combinação de uma lâmina de dureza intermédia, com um substrato com dureza equivalente, se revela a escolha ideal para séries curtas, já que o substrato irá, desta forma, promover a afiação do fio de corte e evitar o esmagamento do mesmo.

Zhang et al. [40], através da teoria da plasticidade micromórfica, estudaram o corte por indentação de uma película, contra um substrato. Encontraram uma relação entre o fator de escala interno e o módulo de encruamento da película. Para a mesma profundidade de corte, a força de corte e a dureza aumentam com o aumento do fator de escala interno.

Para o caso de uma película “mole” num substrato rígido, registaram que a dureza decresce, numa fase inicial, com a profundidade de indentação, até atingir um planalto, aumentando posteriormente. Para além disso, observou-se que a força aumenta, com a diminuição da espessura da película, para a mesma profundidade.

No caso de um sistema com película dura, substrato “mole”, verificou-se que a dureza reduz com a profundidade de indentação, nunca se aproximando de um valor constante. Também se concluiu que a força e a dureza reduzem, com a redução da espessura da película. Este trabalho confirma os resultados de Frederiksson e Larsson [33] apresentados na secção sobre o Encruamento do Material alvo.

3.3 Resumo do estado da arte

Nesta secção apresenta-se um breve resumo das características que se revelaram relevantes, para cada componente, no estudo do corte com matriz, com base na literatura apresentada anteriormente. Pretende-se desta forma sistematizar todo o conhecimento adquirido.

3.3.1 Cortante

Em relação ao cortante, verificou-se que a maioria dos estudos existentes se focam nas características geométricas do mesmo. Aquelas que se revelaram importantes no estudo do corte com matriz, bem como a sua influência, sumarizam-se em seguida:

- **Semiângulo de ataque da lâmina:**

Aumentar o semi-ângulo de ataque da lâmina leva a um aumento da força de corte [14][24];

- **Raio do fio de corte:**

Existência de um raio no fio de corte da lâmina, que permite a eliminação de um ponto de esforços singulares [17];

A redução deste resulta numa redução da força de corte [15][19];

- **Espessura do cortante, w :**

Existe uma relação w/t (sendo t a espessura da película) que se revela crítica para ocorrer separação no corte [1][23];

Aumentar a espessura do cortante leva a um aumento da força de corte [1][24];

Aumentar a espessura do cortante leva a um aumento da espessura residual de material sob o cortante [1];

O corte é mais eficaz, quanto maior dimensão tiver o punção/lâmina. No entanto, também necessita de mais força [18];

A ocorrência de necking, e a sua dimensão, dependem de w (e de t) [1].

– **Afiação da lâmina:**

Caracterização qualitativa do estado da lâmina [16];

Blade Sharpness Index (BSI), quantifica a afiação da lâmina, tendo em conta o material a cortar (sendo 0 uma lâmina ideal) [16][20].

– **Velocidade de corte**

Aumentar a velocidade de corte, reduz a força necessária para o mesmo [15];

Velocidades de corte mais altas geram zonas de “lábio” mais pequenas [15].

3.3.2 Material alvo

A informação considerada relevante em relação ao material alvo não será focada na caracterização do material, já que este é inalterável, mas sim na sua interação com o resto dos componentes, e de que forma uma alteração nos mesmos pode facilitar o corte do material alvo.

Destacam-se a temperatura, que se pode induzir na lâmina ou no substrato, durante o corte. O encruamento do material, já que de acordo com o comportamento deste, se pode tentar adaptar a velocidade do corte. O atrito, principalmente o atrito lâmina/material alvo, já que este parece definir a reação do material à indentação da lâmina.

Em seguida, resume-se a informação recolhida na Revisão Bibliográfica, em relação à influência destas características no corte:

– **Temperatura**

No caso dos polímeros, aumentar a temperatura do corte, reduz a força necessária para o mesmo [28][30];

Existe um limite máximo de temperatura a partir do qual deixa de ocorrer separação do material [30];

Induzir uma temperatura na lâmina revela-se suficiente para o material alvo atingir a temperatura desejada, no corte de polímeros [30];

– **Encruamento**

Um módulo de encruamento mais alto promove os efeitos da rigidez e dureza do substrato, durante o corte [33];

A existência de um gradiente de plasticidade contribui para o encruamento [34];
Maior módulo de encruamento torna o material mais rígido e atrasa a ocorrência de necking [34].

– **Atrito**

Os efeitos do atrito na força de corte são relevantes na pushed-stage. Nesta fase, um aumento do fator de atrito leva a um aumento da força de corte [1];

O atrito entre a lâmina e o material alvo (no caso de ser um polímero) revela-se crítico no desgaste da lâmina [1].

3.3.3 Substrato

A escolha do substrato revelou-se um elemento crítico para o sucesso do corte com matriz. Tem influência na força de corte, no desgaste da lâmina e na qualidade das arestas de corte. No entanto, parece que essa influência se prende apenas pela dureza e rigidez do material usado como substrato.

Em seguida, apresentam-se as conclusões mais importantes retiradas da literatura estudada sobre este componente:

- Aumentar a dureza do substrato promove o esmagamento da lâmina [38];
- Aumentar a dureza do substrato previne a ocorrência de *dents* [38];
- Um substrato com uma dureza intermédia pode ser proveitoso para conservar a lâmina e até promover a afiação do fio de corte da mesma (desde que conjugado com uma lâmina de dureza também intermédia) [39];
- Substratos duros levam à ocorrência de um 2º *necking*, quando usados no corte de películas “moles” [40];
- Substratos menos duros anulam a ocorrência do 2º *necking*, no corte de películas duras [40].

3.3.4 Métodos de análise

Na panóplia de estudos investigados, foram usados vários métodos de análise com o intuito de modelar o corte por indentação. Por baixo encontra-se uma síntese destes, com a referência ao trabalho em que cada um foi utilizado como ferramenta:

- Slip-Line Theory [14][15][18][24];
- Mecânica de Fratura Linear Elástica [18];
- Método de Elementos finitos [21][22][24][38][37];
- Strain Gradient Theory [32][33].

Existem vários outros métodos de análise utilizados na literatura, no entanto, estes revelaram-se os mais amplamente utilizados nesta área.

Como nesta dissertação não se pretende realizar uma análise teórica do corte, mas sim experimental, não se desenvolverão considerações sobre os mesmos (métodos de análise), servindo esta informação apenas para melhor compreensão da temática e da literatura estudada.

ANÁLISE PRELIMINAR

Com o propósito de diagnosticar e de ganhar alguma intuição com o processo em si, com base em todo o conhecimento adquirido durante a pesquisa bibliográfica, realizou-se uma análise preliminar do projeto inicial, que para além dos cálculos teóricos da força necessária para realizar o corte, inclui um conjunto de testes de despistagem de possíveis origens do problema e de hipóteses de soluções. Essa análise apresenta-se em seguida.

4.1 Cálculo da força

Segundo a informação encontrada, o cálculo da força necessária para este tipo de corte recorre às fórmulas utilizadas em processos de estampagem, substituindo a área dos punções pelo perímetro do cortante [43].

Equação 2 - Força de corte

$$F_c = L * t * S$$

F – Força de corte (kgf)
L – Perímetro de corte (mm)
t – Espessura do material (mm)
S – Tensão de corte (kgf/mm²)

Equação 3 - Força de corte (com tensão de rutura)

$$F_c = K * L * t * T_s$$

F – Força de corte (kgf)
K – Coeficiente = 0.8
L – Perímetro de corte (mm)
t – Espessura do material (mm)
T_s – Tensão de rutura (kgf/mm²)

Equação 4 - Força de remoção (K=0,2)

$$F_R = K * F$$

F_R – Força de remoção (kgf)

F – Força de corte (kgf)

K_s – Coeficiente remoção scrap

Equação 5 - Força da prensa

$$\text{Força da prensa} = F_c + F_R$$

F_R – Força de remoção (kgf)

F_c – Força de corte (kgf)

Com base nesta informação, em seguida faz-se uma estimativa da força necessária para realizar o corte, no caso da matriz com maior perímetro de corte. Nesta matriz encontram-se montados 4 cortantes com um perímetro igual a 489 mm. A película de LDPE em questão tem uma espessura $t=0.07$ mm e as suas propriedades mecânicas encontram-se no anexo A.

De notar que esta película apresenta uma superfície (aquela por onde se pretende iniciar o corte) com um tratamento superficial que lhe confere maior dureza. Esse tratamento não foi divulgado pelo cliente, por motivos de confidencialidade, pelo que a influência do mesmo nas características mecânicas da película são também desconhecidas. Só na fase de alteração do projeto inicial é que foi esclarecida esta particularidade.

Por este motivo, o valor teórico calculado seguidamente terá um erro associado, não se sabendo exatamente o seu impacto. No entanto, como não existe uma relação entre a força de corte e a dureza do material, o impacto desse tratamento superficial não induzirá diretamente um erro significativo no resultado (usando esta fórmula de cálculo). Irá traduzir-se apenas numa redução ínfima da espessura atribuída ao LDPE, correspondendo esta redução à espessura do material que compõe o tratamento superficial. Como $t_{LDPE} \gg t_{\text{Tratamento}}$, essa diferença não será considerada, sendo o valor teórico da força necessária calculado apenas com as propriedades do LDPE.

As propriedades mecânicas mais relevantes da película de LDPE encontram-se destacadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Propriedades mecânicas Película de LDPE ref

Propriedade	Valor Médio	
Tensão crítica de rutura à tração	27.2 MPa MD*	21,3 MPa TD*
Extensão crítica de ruptura à tração	448%	
Coefficiente de fricção	0,464	
Dureza (Shore D)	50	
Módulo de elasticidade	0,244 GPa	
Energia de Perfuração	1,56 J	

* Remete-se o leitor para o capítulo 3.2.2.4 – Direção de corte.

Cálculo da Força de Corte e da Força da Prensa:

Equação 3: Força de Corte = $K \times L \times S \times T_{\text{máx}}$

$$F_c = 0,8 \times 489 \times 0,07 \times 27.2 = 744,8 \text{ N} = 76 \text{ kgf}$$

Equação 5: Força da prensa = $F_c + F_R = 76 + 0,2 \times 76 = 91,2 \text{ kgf}$

$$\text{Régua 4 cortantes} \rightarrow 4 \times 91,2 = 364,8 \text{ kgf} = 3575,04 \text{ N}$$

Facilmente se conclui que no projeto inicial, o dimensionamento da prensa para exercer 100 kgf, como exigido pelo cliente, provou-se incorreto, sendo imediatamente uma causa para o insucesso do corte. No entanto, com a modificação posterior da prensa para aumentar a força máxima até 1800 kg (>>365 kg), já deveria ser possível realizar o corte com sucesso, o que não se verificou, o que deixa até dúvidas em relação à fiabilidade da fórmula de cálculo.

4.2 Testes diagnóstico

Toda a informação reunida até esta fase permitiu começar a excluir algumas causas do problema e também começar a teorizar possíveis origens e soluções.

Através da observação da prensa, da matriz de cortantes e dos cortes realizados, e com base nos problemas comuns encontrados no processo de *Die Cutting* restringiram-se as possíveis causas do problema. Concluiu-se que as mais prováveis seriam:

- Desalinhamento/Desgaste dos cortantes;
- Cortantes com uma espessura e raio de corte demasiado elevados para realizar o corte;

- Substrato não adequado;
- Pressão demasiado elevada.

Decidiu-se, portanto, realizar uma série de testes, de forma a confirmar, ou excluir a hipótese, de a causa do problema ser um dos apresentados anteriormente.

4.2.1 Instalação operacional

Realizou-se um teste na prensa, com a instalação utilizada pelo cliente, como na Figura 51, de forma a conseguir realizar uma análise do corte obtido. Neste teste utilizou-se apenas um cortante, com o perímetro indicado na secção anterior, de forma a perceber qual a gravidade do problema, já que a prensa teria uma força muito superior à necessária (ver Figura 52).

Observou-se que mesmo com apenas 1 cortante, o corte só era realizado na primeira passagem, sendo impossível voltar a ter sucesso no mesmo, sem mudar a placa de PE utilizada como substrato. O material alvo apresentava apenas *creasing* nas passagens seguintes, ilustrado na Figura 53. Isto parece indicar que o fenómeno de *creasing* – no substrato – se está a revelar crítico, pois a abertura de *dents* (deformação do substrato por ação da lâmina) no mesmo “abre espaço” para a película se acomodar quando afetada pela lâmina.

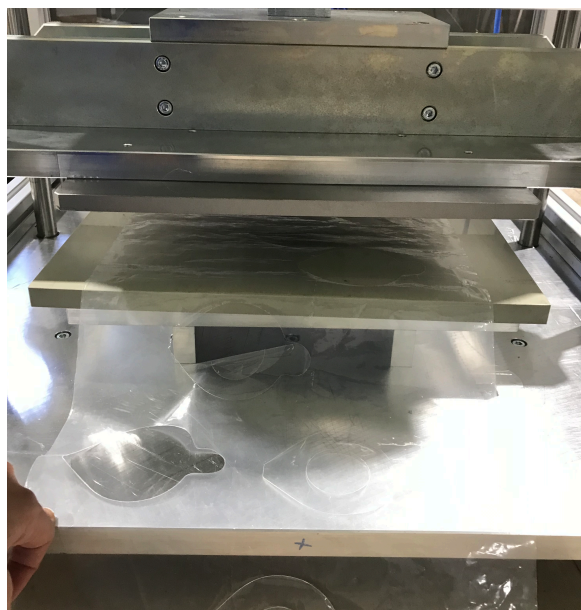


Figura 51 - Setup do cliente - Prensa em utilização



Figura 52 - Cortante único em serviço



Figura 53 - Resultado do corte (maioritariamente *creasing*, sem corte)

4.2.2 Instalação com substrato alternativo

Posteriormente, com o intuito de testar a hipótese de o corte estar a ser impedido pelo fenómeno de *creasing*, mudou-se a instalação, de forma a incluir um substrato/sofrideira com maior dureza, evitando assim a deformação da superfície do mesmo. Trocou-se a placa de PE (Polietileno) por uma chapa de alumínio e sob essa colocou-se uma tira de borracha, como na Figura 54, com o intuito de permitir pequenos ajustamentos da chapa, de forma a compensar o possível desalinhamento dos cortantes.

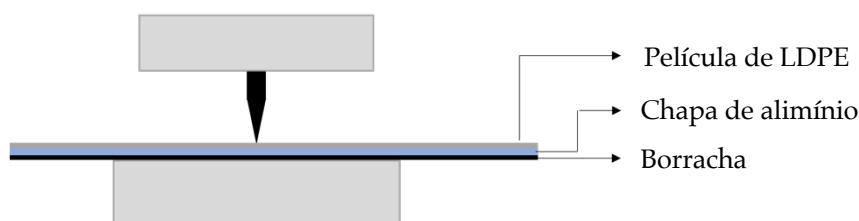


Figura 54 - Setup de testes alternativo

Com esta configuração foi possível obter resultados mais satisfatórios, ainda que longe de ideais. Realizaram-se 2 cortes diferentes, o primeiro com apenas 1 cortante montado na prensa, o segundo com 4 cortantes (a situação limite).

No primeiro caso, estabeleceu-se uma pressão máxima de 5 bar na prensa e repetiu-se o corte sempre na mesma posição, de forma a perceber de que forma o fenómeno de *creasing* da chapa de alumínio iria influenciar o sucesso do corte. Realizaram-se 7 ensaios e em todos se verificou o corte do material, não se notando nenhuma alteração clara no estado da chapa de alumínio (Figura 55).

No segundo caso, com uma pressão de 5,5 bar, não foi possível cortar com sucesso todo o material (Figura 56). Deduz-se que o insucesso se deva ao desalinhamento dos cortantes da matriz, que se traduz numas zonas do perímetro onde ocorreu separação e outras onde o material parece não ter sido afetado.

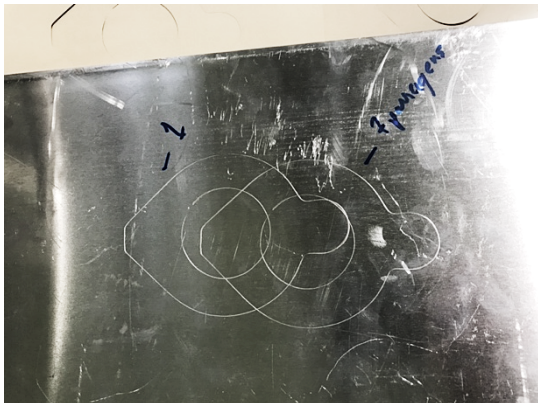


Figura 55 - Chapa de alumínio: 1 passagem à esquerda. 7 passagens à direita

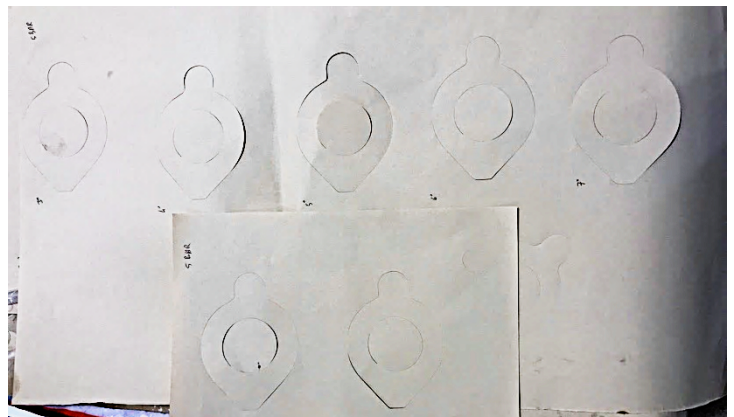


Figura 56 - Resultado dos 7 cortes com *setup* de testes alternativo

4.2.3 Substrato com dureza variável

Na última fase de testes, entendeu-se que seria proveitoso realizar o corte num substrato extremamente dúctil e também no substrato de PE, no entanto, com uma geometria de corte mais simples e com um perímetro que não necessitasse de cargas tão elevadas.

Optou-se por utilizar 2 vazadores (Figura 57 e Figura 58), vulgarmente usados para furos em borracha, de diferentes diâmetros, para além de uma faca afiada, para controlo. A opção de utilizar 2 diâmetros diferentes deve-se ao facto de alguns resultados indicarem que a geometria do perímetro do cortante influencia bastante a força necessária para realizar o corte.

Para além dos diferentes substratos, realizou-se a experiência com dois “modos” de aplicação da força: constante e de impacto. No caso constante, tentou aplicar-se peso de forma uniforme e no caso do modo de impacto, utilizou-se um martelo que foi apenas “largado” sobre o suporte dos vazadores. Com isto pretendia-se confirmar informação já estudada, que aponta para um comportamento frágil dos polímeros, quando a velocidade de corte aumenta, bem como uma redução na força necessária para o corte e também para uma melhor qualidade das arestas cortadas.

Estima-se que a força aplicada nos testes se situe entre os 30 e os 40kg, muito superior à necessária para realizar o corte, segundo o método de cálculo aceite e utilizado atualmente.

Os resultados encontram-se na Tabela 2.



Figura 57 - Montagem suporte e Vazador de 20 mm



Figura 58 - Montagem suporte e Vazador de 10 mm

Cálculo da força teórica:

$$\text{Perímetro} = 2 \times \pi \times \text{raio} = 2 \times \pi \times 10\text{mm} = 62,8 \text{ mm}$$

$$\text{Equação 3: } F_c = 62,8 \times 0,07 \times T_{\text{max}} = 182,3 \text{ N} = 18,6\text{kg}$$

$$\text{Equação 5: Força da prensa} = 182,3 + 0,2 \times 182,3 = 218,76\text{N} = 22,3\text{kg}$$

Cálculo da força teórica:

$$\text{Perímetro} = 2 \times \pi \times \text{raio} = 2 \times \pi \times 5 \text{ mm} = 31,4 \text{ mm}$$

$$\text{Equação 3: } F_c = 31,4 \times 0,07 \times T_{\text{max}} = 91,65\text{N} = 9,34\text{kg}$$

$$\text{Equação 5: Força da prensa} = 91,65 + 0,2 \times 91,65 = 110\text{N} = 11,2\text{kg}$$

Cortante	Sofreideira	Modo Força	Nº Ensaio	Desempenho			Qualidade	
				cortou	com falhas	não cortou	corde	substrato
Faca	PE	Constante	1	X			Muito Bom	Médio
Vazador $\phi 20$	PE	Constante	1		X		Bom	Médio/Mau
			2			X		
			3		X			
	PE	Impacto	1	X			Muito Bom	Médio
			2	X				
			3	X				
	Cartão	Constante	1		X		Médio	Quase Perfurada
			2			X		
			3		X			
Impacto		1	X			Bom	Perfurada	
		2	X					
		3	X					
Vazador $\phi 10$	PE	Constante	1		X		Médio	Médio
			2			X		
			3		X			
	PE	Impacto	1	X			Médio/mau	Mau
			2	X				
			3	X				
	Cartão	Constante	1		X		Mau	Quase Perfurada
			2		X			
			3		X			
Impacto		1	X			Médio/mau	Perfurada	
		2	X					
		3	X					

Tabela 2 - Resultados qualitativos do corte com vazadores

Este teste permitiu confirmar que a velocidade de corte tem uma grande influência no sucesso e na qualidade do mesmo.

Em todos os testes de impacto, o corte foi bem-sucedido e a qualidade das arestas do mesmo revelou-se muito boa (Figura 61). No caso do substrato de PE, os resultados foram melhores do que com o substrato de cartão. Notou-se também uma tendência para a redução da qualidade de corte, com a diminuição do diâmetro. Sendo que, em teoria, um diâmetro menor necessita de menos força, seria de esperar o contrário. No entanto, o que se observou foi uma qualidade de arestas pior no menor diâmetro. A hipótese de explicação para este fenómeno prende-se com a proximidade entre as arestas cortadas, que parece influenciar os esforços a que o material alvo é sujeito.

No caso dos testes com força constante, os resultados foram pouco satisfatórios, sendo mesmo impossível obter algum corte completo do material. No entanto, esse fenómeno pode ser explicado por algum desalinhamento no momento da aplicação da força, que pode ter comprometido a fiabilidade dos testes.

Ainda assim, foi possível observar a mesma tendência na qualidade das arestas do que aquela verificada nos testes de impacto (em relação à variação do substrato).

O sucesso do corte foi um pouco melhor no caso da sofrideira de cartão, no entanto levou sempre à destruição desta (Figura 61 e Figura 61). No caso do substrato de PE, verificou-se a ocorrência do fenómeno de *creasing*, bem como a ocorrência de *dents* no substrato, mesmo na gama de forças aplicada.



Figura 61 - PE - Impacto- 10mm



Figura 61 - Cartão - Força constante - 20mm



Figura 61 - Cartão - Força Constante - 10mm

4.3 Interpretação de resultados

Com base em todas as informações reunidas (apresentadas no capítulo anterior) e nos testes realizados, é possível identificar 3 características determinantes no sucesso e no desenvolvimento dos esforços do processo de corte com matriz, principalmente no caso de polímeros:

1. A temperatura tem muita influência no comportamento mecânico de polímeros (mesmo a baixas temperaturas) e, conseqüentemente na força de corte;

Em toda a literatura encontrada onde se estudou a influência da temperatura (da lâmina ou do substrato) na força de corte de polímeros, concluiu-se que um aumento da temperatura conduz a uma redução dos esforços envolvidos no processo. No entanto, existe um limite em que esses materiais se comportam com características de um fluido e torna-se praticamente impossível obter separação dos mesmos.

2. A velocidade de corte é determinante no comportamento do material alvo e, conseqüentemente, na força de corte;

Tanto nos estudos que foi possível encontrar, em que se investigou relação entre a variação da velocidade de corte e os esforços do mesmo, como na pequena bateria de testes realizada e apresentada anteriormente, este parâmetro revelou-se crítico. Observou-se que um aumento da velocidade conduz a uma redução (considerável) na força necessária para ocorrer separação total do material e garante também uma qualidade de arestas de corte superior.

3. A dureza do substrato condiciona o sucesso e qualidade do corte;

Apesar de não se revelar um fator crítico para o sucesso do corte, no caso de séries pequenas, a escolha inadequada do substrato revela-se muito prejudicial para mais do que 1 passagem. Os resultados obtidos no teste com o substrato de alumínio indicam o mesmo que se encontrou na literatura disponível. Aumentar a dureza do substrato garante melhores resultados para mais do que 1 passagem, por minimizar a ocorrência de *dents*. No entanto, é importante ter em atenção a combinação de durezas lâmina/substrato, já que aumentar a dureza do último promove o esmagamento do fio de corte da lâmina.

Outra característica que parece ter algum tipo de influência na força de corte é a geometria do cortante, ou seja, a forma do perímetro que se pretende cortar. No entanto não é algo que tenha sido possível encontrar na literatura disponível, pelo que não se considerará como certa a sua influência na força de corte.

Nos testes realizados com os diferentes diâmetros de vazadores, verificou-se alguma diferença na qualidade das arestas, entre os dois perímetros. Sendo que aquele que apresentava mais estiramento nas arestas era o diâmetro menor.

Também se observou (numa série de testes realizada com o cliente) que estava a ser possível realizar um corte reto com um perímetro superior àquele em que deixava de ser possível cortar a geometria mais complexa. Em teoria, um maior perímetro necessitaria de mais força

(segundo a fórmula utilizada) para realizar o corte. No entanto verificou-se que num perímetro linear, com maior dimensão do que outro mais complexo, se obtiveram melhores resultados para a mesma força

De tudo o que foi apresentado anteriormente, verifica-se também que a fórmula de cálculo (mais frequentemente) utilizada para estimar a força de corte não contempla diversas variáveis (apresentadas anteriormente) que, no caso do corte com matriz, parecem revelar-se fundamentais na força necessária para realizar o mesmo. O grau de erro induzido pela ausência destas variáveis no resultado do cálculo da força de corte não será possível de estimar sem uma investigação mais aprofundada.

MÉTODO EXPERIMENTAL

Neste capítulo apresenta-se a fundamentação para a variável que se optou por investigar, a instrumentação utilizada, bem como o procedimento experimental adotado, tendo em conta todas as dificuldades encontradas no desenvolvimento do mesmo.

5.1 Introdução

Depois de toda a pesquisa realizada (Cap. 3) e do conjunto de testes descrito anteriormente (Cap. 4) concluiu-se que uma característica importante do corte com matriz (e a sua influência na força de corte) sobre o qual não se encontram estudos é a geometria do perímetro de corte (ou do cortante).

O facto de alguns materiais (como as películas de LDPE) não apresentarem a mesma resistência ao corte quando cortados em diferentes orientações levanta a dúvida sobre que influência isso terá no caso de geometrias de corte complexas, em que diferentes secções do corte apresentam diferentes orientações em relação ao material alvo (como no caso em estudo).

A ocorrência dos fenómenos de *pile-up* e *sink-in*, que resultam de deformações do material-alvo em certa direção, por estar restrito noutra, ou por atrito entre a lâmina e o material alvo, respetivamente, levantam também a dúvida de qual será o seu efeito, quando aplicados a um corte com uma geometria complexa e perímetro fechado. Visto que esses fenómenos induzem tensões no material, tal como o corte em si, a proximidade entre dois lados opostos de um perímetro fechado poderá de alguma forma influenciar o desenvolvimento do corte, quando comparado com um corte em linha, com o mesmo perímetro.

Para além dos dois pontos descritos anteriormente, também durante a fase de testes houve indícios de que a geometria do corte tem influência, pelo menos, na qualidade do corte, como foi descrito nas secções 4.2 e 4.3 do capítulo 4.

Por estas razões, decidiu-se, no âmbito da Dissertação em Engenharia Mecânica, conduzir uma investigação com o objetivo de identificar se há, de facto, algum tipo de alteração nos esforços e qualidade do corte, com a variação da geometria do mesmo.

Para isso, realizaram-se vários testes de corte, numa prensa existente no Laboratório de Máquinas do DEMI, na FCT-UNL, que tem a capacidade de medir forças com precisão até 25 kgf. Testaram-se 3 geometrias de corte distintas, todas com o mesmo perímetro de corte. Essas geometrias têm as formas de: segmento de reta, circunferência e linha curva em forma de “S”. Esta escolha deve-se ao facto de, desta forma, ser possível avaliar as diferenças entre um perfil aberto (segmento de reta e “S”) e um perfil fechado (circunferência), e entre uma geometria simples (segmento de reta) e uma geometria complexa (linha curva em forma de “S”). Para além disso, de forma a testar a aplicabilidade da fórmula em situações com menos variáveis, testou-se se esta progride proporcionalmente ao perímetro (como está implícito na mesma). Para isto testaram-se três perímetros de corte retilíneos diferentes: 10 mm, 20 mm, 30 mm. De forma a recolher mais dados de controlo, realizaram-se também testes de corte na massa (todo o perímetro da lâmina penetra no material) e na direção de maquinação do material utilizado.

Nas secções seguintes especifica-se toda a instrumentação utilizada para a realização da investigação, o procedimento e os testes realizados, bem como as dificuldades encontradas durante o processo.

5.2 Instrumentação

5.2.1 Lâmina

Para a realização dos testes, pretendia-se uma montagem que permitisse a utilização de uma lâmina/cortante facilmente substituível. Desta forma, é possível garantir as mesmas condições entre testes, pois pode simplesmente trocar-se a lâmina já utilizada por uma lâmina nova, sem necessidade de afiar cortantes em momento algum. Assim fixam-se imediatamente três variáveis do problema: raio do fio de corte, ângulo de ataque da lâmina e espessura da lâmina.

A escolha da lâmina fez-se então com o objetivo de ser substituível, deformável, de fácil aquisição e custo reduzido. Optou-se por uma lâmina de barbear que se pode adquirir facilmente em secções de higiene de superfícies comerciais, como a que se observa na Figura 62. Esta lâmina é de aço inoxidável, da marca Dorco, apresenta uma lâmina dupla, com 35 mm de comprimento e 0,1mm de espessura. Não foi possível encontrar detalhes sobre o gume de corte

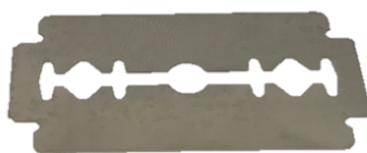


Figura 62 - Lâmina utilizada nos testes

da lâmina, nem ter acesso a aparelhos que permitissem fazer medições do mesmo. No entanto este facto torna-se irrelevante já que não será uma das variáveis em estudo. Serão sim a dimensão longitudinal (perímetro) e a geometria da mesma (retilínea, circular ou em "S") no momento do corte do material.

5.2.2 Suportes

Para realizar a montagem da lâmina na prensa foi necessário desenvolver uma solução que a permitisse acomodar, com as geometrias pretendidas, e fixar à prensa de testes. A fixação à prensa faz-se através de um veio de 8mm.

A solução encontrada contempla quatro componentes (3 deles com 2 partes): um suporte para fixar à prensa e um suporte desenvolvido para cada geometria, projetados para fixar no primeiro, em qualquer direção e com facilidade.

Todos os componentes foram fabricados em CNC, na Metal-Conser, Lda, a quem se agradece a disponibilidade e auxílio. No Anexo A encontram-se todos os desenhos técnicos das peças projetadas.

5.2.2.1 Fixador - prensa

Este componente, representado na Figura 63, faz a ligação entre a prensa e os suportes geométricos, através de um veio. Foi projetado de forma a garantir que, para além das laterais, o único ponto de contacto com a prensa seja o veio. A liberdade de rotação permite o ajustamento da lâmina no momento do contacto e garante que a transmissão da força para a prensa é feita através do eixo (prevenindo desequilíbrios no braço onde se mede a força). A fixação aos suportes geométricos faz-se através de 4 parafusos M3. Existe ainda um furo roscado, na superfície inferior, que serve de auxílio para a montagem do suporte circular.

De notar que 2 dos furos no topo apresentam uma folga, de forma a permitir a montagem dos suportes, quando inserida a lâmina. Desta forma também se possibilita a troca de lâminas sem desmontar os suportes geométricos do fixador, bastando para isso retirar a pressão dos parafusos, que cria a folga necessária para trocar a lâmina.



Figura 63 - Fixador - prensa

5.2.2.2 Suporte retilíneo

Para a geometria mais simples, uma reta, desenvolveu-se o suporte representado na Figura 64. Tentou simplificar-se ao máximo tanto a produção, como a utilização dos suportes. O suporte apresenta duas partes, entre as quais se coloca a lâmina. Os dois parafusos existentes na lateral fixam a lâmina e imprimem-lhe pressão, de forma a evitar a sua deformação durante o uso. A ligação ao fixador faz-se nos quatro furos roscados localizados no topo. O alinhamento da lâmina neste suporte garante-se pelo encostro ao fixador. Permite também a utilização de *shimms* na face superior, caso seja necessário modificar a altura de corte disponível da lâmina.



Figura 64 - Suporte retilíneo - vista inferior

5.2.2.3 Suporte "S"

Para realizar o corte em "S", a solução encontrada foi a que se mostra na Figura 65. Dada a elevada flexibilidade das lâminas (condição necessária para conseguir realizar o teste desta forma), desenvolveu-se um suporte que permite condicionar a lâmina no formato desejado, ao mesmo tempo que se imprime uma pressão lateral na mesma, de forma a prevenir deformações. A fixação ao suporte faz-se da mesma forma que o suporte retilíneo. O "S" descrito pela lâmina é composto por 2 semicírculos com 5,89 mm de raio e perfaz um perímetro de 35 mm.



Figura 65 - Suporte "S" - vista inferior

5.2.2.4 Suporte circular

O suporte circular, ilustrado na Figura 66, foi projetado de acordo com os anteriores. A lâmina insere-se entre os dois suportes, permitindo a sua conformação numa forma circular. No interior insere-se uma borracha, criada para o efeito, que se deforma quando comprimida pelo parafuso que se enrosca no interior do fixador, imprimindo um aperto na lâmina contra o suporte. O círculo descrito pela lâmina tem um raio, r , igual a 5,89 mm e um perímetro igual a 35 mm.



Figura 66 - Suporte circular - vista inferior

5.2.2.5 Montagem

A montagem em cada um dos suportes faz-se como indicado anteriormente. Em seguida apresentam-se as 3 configurações de montagem, com cada um dos suportes da lâmina, bem como a instalação laboratorial.

A **Error! Reference source not found.**67 mostra a vista superior da montagem completa do "S". A **Error! Reference source not found.** e Figura 70 mostram as vistas inferiores do jig de montagem completo, para cada uma das geometrias). Excluiu-se o suporte circular por não ter sido possível obter uma montagem adequada do sistema,



Figura 67 - Montagem completa "S" - vista superior



Figura 68 - Montagem completa "S" - vista inferior



Figura 69 - Montagem completa suporte retilíneo - vista inferior

5.2.3 Substrato

Neste estudo escolheu-se um substrato com uma dureza intermédia, mas muito superior àquela utilizada pelo cliente no seu processo de produção. Com esta escolha pretende-se evitar a ocorrência de *dents* no substrato, reduzindo a necessidade de substituição deste, conseguindo na mesma garantir resultados semelhantes entre ensaios. Para além disso, prevê-se que a utilização de um substrato mais duro torne mais facilmente identificável o ponto de separação do material, já que há uma variação mais abrupta no desenvolvimento da força, do que num substrato menos duro.

Optou-se então, por uma chapa polida de alumínio, com espessura igual a 1 mm. A utilização de uma chapa em vez de um bloco permite que a cada corte se possa utilizar uma nova secção de chapa, sem comprometer os resultados pela existência de outros riscos (como aconteceria no bloco), sem necessidade de polir.

5.2.4 Prensa de testes

A prensa utilizada nesta investigação funciona por ação de um motor elétrico que, através de um fuso, transmite a força ao braço de trabalho. O registo da força aplicada faz-se através de uma roseta existente no braço, que avalia a deformação do mesmo.

O único *output* deste equipamento é um ficheiro tipo *log* com o desenvolvimento da força ao longo do teste. Apesar de esta lista apresentar os valores em relação a um passo fixo do motor, esse passo não se revela relevante pois inclui todas as deformações que ocorrem no sistema e não apenas o avanço da lâmina sobre o material, pelo que não permite uma análise da força em relação à profundidade.

O accionamento da máquina é feito pelo operador e para parar o teste numa força específica é necessário coordenar a paragem no botão com a força que está a ser observada diretamente no computador (através do programa Arduino).

5.3 Dificuldades encontradas

Depois de produzidos todos os suportes, foi necessário confirmar se estes produziam resultados precisos e, principalmente, repetíveis, nas mesmas condições.

Como em todos os projetos, foram várias as dificuldades encontradas nesta fase, dificuldades essas que tornaram necessário adaptar o procedimento de forma a obter resultados que pudessem ser utilizados neste estudo.

Numa primeira fase, verificou-se não ser possível identificar graficamente a zona de separação do material. Apesar de a prensa apresentar uma boa precisão, o ruído imprimido pela rotação do fuso e também a deformação de outros componentes (inclusivê a lâmina), tornam impossível encontrar a zona de separação graficamente, já que esta se vê "absorvida" pelos motivos descritos anteriormente.

Para além do ruído e das deformações do sistema, verificou-se também ser muito difícil garantir o alinhamento da lâmina nos suportes.

- No caso do suporte retilíneo, observou-se que apesar de ter sido projetado de forma a permitir um ajustamento no contacto, a fricção entre a lâmina e o material "prende" a rotação do eixo, não permitindo um contacto ideal, sem o devido ajustamento antes de cada corte.
- No suporte em "S" o problema de alinhamento revelou-se ainda mais prejudicial, tanto pelo fenómeno provocado pelo atrito, descrito no ponto anterior, como pelas tensões induzidas na lâmina no momento da montagem, que em muitos casos provocaram deformações que não permitiam o seu alinhamento.
- No caso do suporte circular este desalinhamento revelou-se crítico. Como a lâmina apresenta uma zona central "vazia", quando esta se monta no suporte, um dos lados do círculo apresenta uma zona onde não existe "apoio" da lâmina na zona de corte. Como resultado desta falta de apoio, a lâmina apresenta uma tendência para "afundar" nessa zona, independentemente do aperto aplicado na mesma. Este fenómeno tornou impossível o uso deste suporte, comprometendo a possibilidade de estabelecer uma comparação com uma geometria circular.

Verificou-se ainda, nesta fase, que a lâmina utilizada não é totalmente reta no gume de corte. Isto significa que ao utilizar a lâmina contra um substrato, a força medida pela prensa

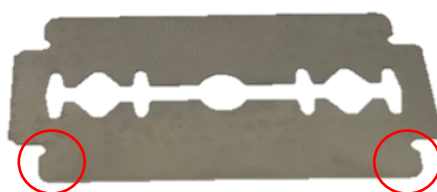


Figura 70 - Lâmina utilizada nos ensaios - zonas destacadas apresentam uma ligeira elevação em relação ao gume de corte (aplica-se a ambos os gumes de corte)

não era a força aplicada pela lâmina no material, mas sim a força necessária para deformar a

lâmina até esta ter contacto completo com o material. Na Figura 70 - Lâmina utilizada nos ensaios - zonas destacadas apresentam uma ligeira elevação em relação ao gume de orte (aplica-se a ambos os gumes de corte) mostra-se a zona onde a lâmina não é reta. Este problema foi solucionado com a remoção da zona onde a lâmina não é totalmente reta.

5.4 Procedimento

O procedimento adoptado para a realização dos ensaios foi alvo de várias alteações, fruto das dificuldades encontradas durante o planeamento do mesmo. Em seguida descreve-se o procedimento adoptado:

1º - Cortar a lâmina, como exemplificado na Figura 71. Com este corte garante-se que a lâmina fica totalmente reta. O perímetro de corte é assim alterado de 35mm para 30mm.

2º - Preparar os provetes da película polimérica (com as larguras adequadas) e da chapa

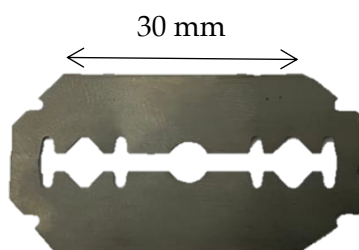


Figura 71 - Lâmina cortada

de alumínio, consoante a necessidade.

Nota: Todos os provetes foram marcados de forma a saber a sua orientação e também qual a face com o tratamento superficial que confere dureza ao material. No caso dos ensaios de variação de perímetro (suporte linear) utilizaram-se provetes da película com a largura igual ao perímetro de corte desejado.

3º - Montar a lâmina no suporte

4º - Realizar um corte no vazio, até à força máxima de 10 kg.

Nota: Este passo tem como intenção normalizar a lâmina depois da montagem.

5º - Preparar a amostra de material com o perímetro desejado e alinhá-lo, com a chapa utilizada como substrato, na zona de corte da prensa.

Nota: Utilizaram-se provetes de chapa com uma largura semelhante às da amostra de material, de forma a evitar possíveis erros na medição da força, por mau contacto entre lâmina e material-alvo.

Definiram-se também marcas de alinhamento na superfície utilizada, de forma a facilitar o alinhamento dos provetes.

6º - Realizar o corte e analisar a evolução da força durante o corte (*output* produzido pela prensa), de forma a parar o teste no momento em que se atinge a força desejada.

7º - Classificar o corte como NC/D/S. Sendo NC - Não cortou; D - Destacável; S - Separou.

Nota: Nalguns casos utiliza-se também D/d na classificação, que indica um possível desalinhamento da lâmina na aplicação da força.

8º - Repetir o procedimento para os diferentes cortes.

Como consequência da impossibilidade de obter graficamente o momento de separação da película, no gráfico força-deslocamento este procedimento foi realizado por patamares de força, ou de forma iterativa.

Pela experiência ganha na fase de afinação dos equipamentos, definiram-se os 5 kg como o primeiro patamar de força em cada ensaio realizado.

Este é um procedimento geral que foi aplicado em todos os cortes.

Em seguida apresentam-se os diferentes testes realizados:

- Variação de Perímetro (Corte Retilíneo) – 10 mm, 20 mm, 30 mm
- Variação de Direção (Corte Retilíneo) - MD, TD (30 mm)
- Variação de geometria - Retilíneo e "S" (30 mm)
- Massa e corte total (Corte Retilíneo) (30 mm)

Realizou-se cada ensaio com a mesma lâmina, variando 1 kgf de força máxima de cada vez, até se observar uma alteração do resultado final. Quando encontrado o patamar onde ocorria uma variação do resultado final (NC/D/S), repetia-se o mesmo mais duas vezes, de forma a obter 3 pontos de dados no mesmo patamar. Nos 2º e 3º ensaios, o primeiro patamar de força escolhido foi 2 kgf abaixo ou acima da força repetida no 1º ensaio, dependendo do resultado obtido.

Para cada geometria foram realizados três ensaios, sendo que no último já não se repetiu o último patamar. Com isto pretendia-se que o terceiro e último ensaio de cada teste fosse aquele com as condições de corte mais próximas das ideais, onde a lâmina apresentava menos desgaste, sendo o valor obtido neste ensaio o mais preciso em cada um dos testes.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

6.1 Tratamento de dados

Os dados recolhidos nos ensaios apenas produzem resultados por patamares de um quilograma. Ou seja, não será possível comparar um valor experimental preciso diretamente com os valores teóricos estudados, apenas permitem confirmar, ou não, se o valor teórico calculado se encontra inserido no patamar onde ocorre o corte, obtido experimentalmente. Apesar disso apresentam-se, no Anexo B, todos os resultados obtidos.

A análise efetuada aos dados obtidos teve como objetivo estabelecer uma relação entre todos os testes realizados e também com o que a teoria nos diz sobre os esforços envolvidos em cada um dos cenários estudados.

6.2 Apresentação de resultados

Em seguida apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos experimentalmente.

Em cada um dos testes, apresentam-se as tabelas resumo dos resultados, devidamente identificadas. No final de cada um dos testes, apresenta-se um gráfico síntese, onde se adiciona, ao longo do desenvolvimento desta secção, os resultados obtidos experimentalmente, de forma a facilitar a visualização dos mesmos.

6.2.1 Variação de perímetro - TD

6.2.1.1 Perímetro de 10 mm

Valor teórico da força de corte necessária:

$$\text{Equação 3: } F_c = 0,8 \times 10 \times 0,07 \times 27,2 = 15,248 \text{ N} = 1,55 \text{ kgf}$$

$$\text{Equação 5: Força da prensa} = 1,55 + 0,2 \times 1,55 = 1,86 \text{ kgf}$$

Tabela 3 - Resultados 10mm - 1º ensaio

Força objetivo	5kg	4kg	3kg	3kg	3kg
Class. do corte	S	S	D/d	D/d	S
F. Máx. Registada (kg)	5,252	4,190	3,273	2,846	3,1856

Tabela 4 - Resultados 10mm - 2º ensaio

Força objetivo	1kg	2kg	2kg	2kg
Class. do corte	D	S	D	S
F. Máx. Registada(kg)	1,152	2,229	2,087	2,164

Tabela 5 - Resultados 10mm - 3º ensaio

Força objetivo	4kg	3kg	2kg	1kg
Class. do corte	S	S	S	D
F. Máx. Registada (kg)	4,113	2,8367	2,100	1,231

6.2.1.2 Perímetro de 20mm

Valor teórico da força de corte necessária:

Equação 3: $F_c = 0,8 \times 20 \times 0,07 \times 27,2 = 30,496 \text{ N} = 3,10 \text{ kgf}$

Equação 5: Força da prensa = $3,10 + 0,2 \times 3,10 = 3,72 \text{ kgf}$

Tabela 6 - Resultados 20mm - 1º ensaio

Força objetivo	5kg	4kg	4kg	4kg
Class. do corte	S	D	S	D
F. Máx. Registada (kg)	5,072	4,2581	4,324	4,120

Tabela 7 - Resultados 20mm - 2º ensaio

Força objetivo	2kg	3kg	4kg	5kg	5kg	5kg
Class. do corte	NC	NC	D	S	S	S
F. Máx. Registada (kg)	2,186	3,0971	3,925	5,043	5,016	5,001

Tabela 8 - Resultados 20mm - 3º ensaio

Força objetivo	2kg	3kg	4kg	5kg
Class. do corte	NC	D	D	S
F. Máx. Registada (kg)	2,019	3,221	4,240	5,278

6.2.1.3 Perímetro de 30mm

Valor teórico da força de corte necessária:

Equação 3: $F_c = 0,8 \times 30 \times 0,07 \times 27,2 = 45,696 \text{ N} = 4,66 \text{ kgf}$

Equação 5: Força da prensa = $4,66 + 0,2 \times 4,66 = 5,59 \text{ kgf}$

Tabela 9 - Resultados 30mm - 1º ensaio

Força objetivo	5kg	6kg	6kg	6kg
Class. do corte	D	S	S	S
F. Máx. Registada (kg)	5,129	6,339	5,924	6,254

Tabela 10 - Resultados 30mm - 2º ensaio

Força objetivo	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
Class. do corte	S	S	D	D	D
F. Máx. Registada (kg)	6,944	6,393	5,171	5,222	5,250

Tabela 11 - Resultados 30mm - 3º ensaio

Força objetivo	5kg	6kg	7kg
Class. do corte	D	S	S
F. Máx. Registada (kg)	5,2764	6,262	6,903

6.2.1.4 Análise de resultados:

Pela análise das tabelas apresentadas, é possível concluir, à partida, 2 características fundamentais: os resultados apresentam uma grande concordância entre testes, e em praticamente todos os ensaios realizados os resultados foram repetíveis e apresentaram-se sempre dentro de uma margem de erro aceitável em relação aos valores calculados teoricamente.

Os resultados obtidos confirmam a teoria (nesta escala de esforços) e aparentam confirmar o método experimental e a interpretação de dados realizados como alternativas viáveis para a estimação das forças de corte envolvidas no mecanismo de corte por indentação ou processo de corte com matriz.

Na Figura 72 apresenta-se uma esquematização dos resultados obtidos para os diferentes perímetros (verde), bem como a evolução teórica da força de corte (azul). Ao longo deste capítulo, este esquema será desenvolvido de forma a integrar todos os resultados obtidos.

Resumidamente os resultados foram:

- 10 mm - Força de corte encontra-se no patamar entre 1 kgf e 2 kgf.
- 20 mm - Força de corte encontra-se no patamar entre 3 kgf e 4 kgf.
- 30 mm - Força de corte encontra-se no patamar entre 5 kgf e 6 kgf

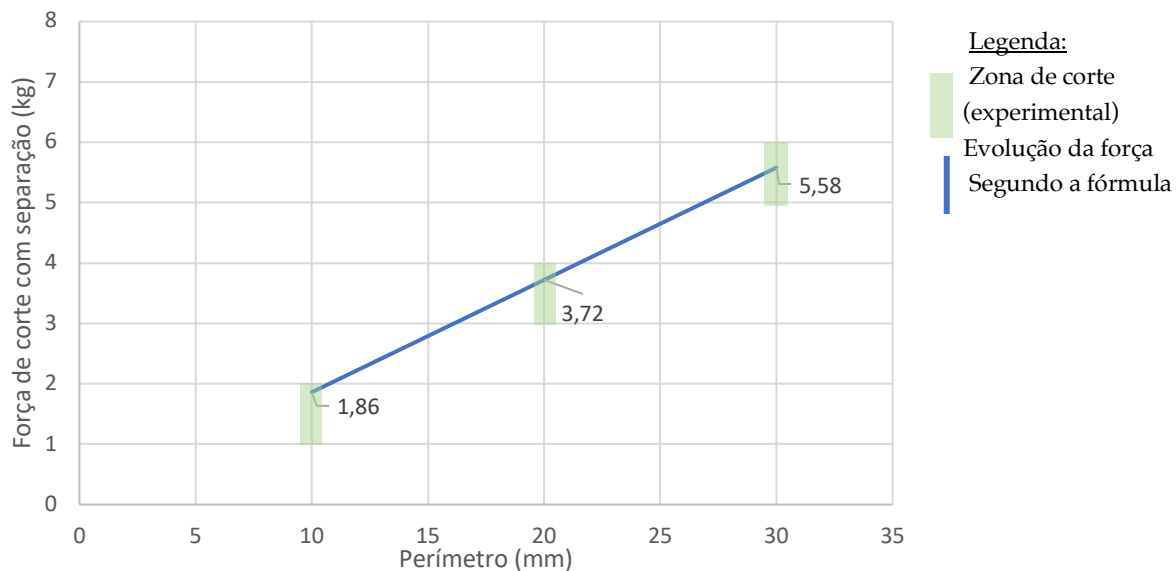


Figura 72 - Representação gráfica dos resultados da variação de perímetro

6.2.2 Variação de direção (MD/TD)

Na direção TD, os resultados são os que se apresentaram anteriormente, para o perímetro de 30mm. Disponíveis também no Anexo B.

Os resultados do corte na direção MD apresentam-se de seguida:

6.2.2.1 Direção MD

Valor teórico da força de corte necessária:

$$\text{Equação 3: } F_c = 0,8 \times 30 \times 0,07 \times 21,3 = 35,784 \text{ N} = 3,65 \text{ kgf}$$

$$\text{Equação 5: Força da prensa} = 3,65 + 0,2 \times 3,65 = 4,38 \text{ kgf}$$

Nota: Quando o corte se realiza com a lâmina na direção MD, o valor de tensão de ruptura utilizado será o da direção TD, pois é nessa direção que ocorre a separação das fibras.

Tabela 12 - Resultados MD_30mm - 1º ensaio

Força objetivo	5kg	4kg	4kg	4kg
Class. do corte	S	D	D	D
F. Máx. Registada (kg)	5,335	3,999	4,131	3,993

Tabela 13 Resultados MD_30mm - 2º ensaio

Força objetivo	3kg	4kg	5kg	6kg	6kg	6kg
Class. do corte	NC	NC	D	S	S	S
F. Máx. Registada (kg)	3,285	4,286	5,268	6,412	6,4155	6,2525

Tabela 14 - Resultados MD_30mm - 3º ensaio

Força objetivo	6kg	5kg	4kg
Class. do corte	S	S	NC
F. Máx. Registada (kg)	5,335	3,999	4,131

6.2.2.2 Análise de resultados:

Tal como se verificou no teste de variação de perímetro, também no caso das diferentes direções de corte, os ensaios apresentam resultados que são concordantes com aqueles calculados teoricamente. Na Figura 73 representam-se mais uma vez graficamente os resultados obtidos.

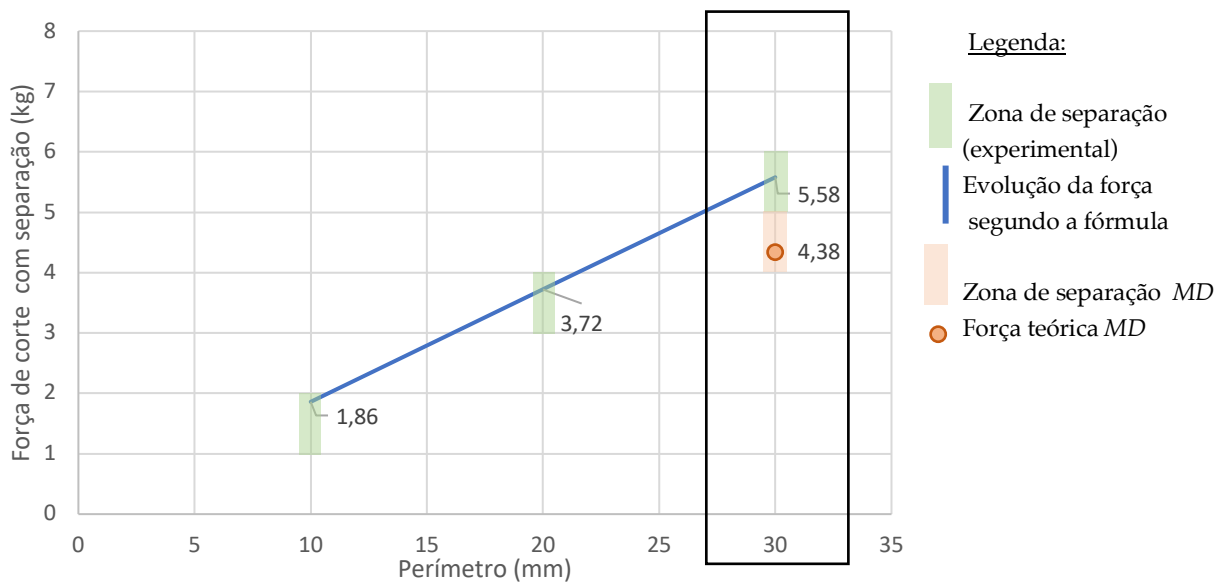


Figura 73 - Representação gráfica dos resultados da variação de direção MD/TD (destacado)

6.2.3 Variação de geometria

6.2.3.1 Corte em "S" – 30 mm

O valor teórico da força de corte necessária é igual ao calculado para o corte retilíneo de 30mm (5,58 kgf), já que a fórmula utilizada não contempla um fator geométrico. Por dificuldades de alinhamento da lâmina, apenas se contabilizará um dos ensaios realizados, visto que foi aquele em que se conseguiu garantir o alinhamento da lâmina.

Tabela 15 - Resultados "S" _30mm - 1º ensaio

Força objetivo	10kg	8kg	7kg	7kg	7kg
Class. do corte	S	S	D	D	NC
F. Máx. Registada (kg)	10,030	7,849	7,166	7,316	7,188

6.2.3.2 Análise de resultados:

Por causa das dificuldades de alinhamento encontradas com a utilização deste suporte, apenas se considerou aceitável um dos ensaios realizados. Este foi o único que apresentou a mesma qualidade de corte que todos os outros realizados e não faria sentido comparar resultados em condições ideais, com outros com graves problemas de desalinhamento.

Neste ensaio, o resultado foi muito satisfatório. O contacto da lâmina com o material e o substrato aparentou ser quase perfeito, pelo que se considera este ensaio muito representativo do esforço real necessário para cortar um perímetro de 30 mm com características curvas, numa película de LDPE (não esquecendo que a película estudada tem um tratamento superficial que lhe confere alguma dureza acrescida). O patamar de força identificado situa-se entre os 7 kg e os 8 kg, como se mostra na Figura 74.

Neste teste, parece identificar-se o primeiro indício de distanciamento da fórmula de cálculo em relação à força que se observa experimentalmente. No entanto, apesar de ser apetecível tirar conclusões, o facto de se considerar apenas 1 ensaio não permite ir mais longe do que identificar apenas uma situação digna de registo e que merece ser investigada mais aprofundadamente.

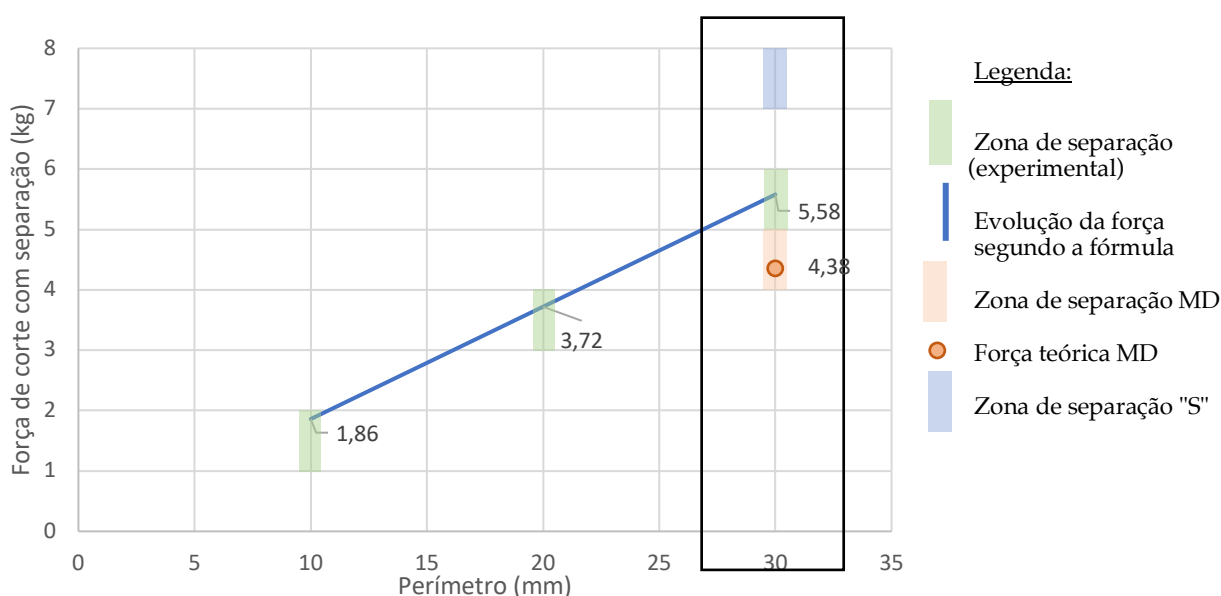


Figura 74 - Representação gráfica dos resultados da geometria em "S" (destacado)

6.2.4 Corte na massa

6.2.4.1 Corte na massa - 30 mm

O valor teórico da força de corte necessária é igual ao calculado para o corte retilíneo de 30mm (5,58kg), já que a fórmula utilizada não contempla um fator que altere o valor calculado, sendo um corte na massa ou um corte total.

Neste teste utilizou-se um provete com 50mm de largura, de forma a garantir que o corte era executado sem influência dos limites do provete.

Tabela 16 - Resultados 30mm_TD_Massa - 1º ensaio

Força objetivo	5kg	6kg	6kg	6kg
Class. do corte	D	S	S	S
F. Máx. Registada (kg)	5,185	5,975	6,089	6,077

Tabela 17 - Resultados 30mm_TD_Massa - 2º ensaio

Força objetivo	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
Class. do corte	S	S	D	D	NC
F. Máx. Registada (kg)	7,100	6,179	4,984	4,993	5,101

Tabela 18 - Resultados 30mm_TD_Massa - 1º ensaio

Força objetivo	4kg	5kg	6kg
Class. do corte	D	D	S
F. Máx. Registada (kg)	4,2781	5,235	6,260

6.2.4.2 Análise de resultados:

Tal como nos testes anteriores, os resultados obtidos parecem apresentar boa qualidade, já que se repetiram em todos os ensaios e correspondem também àquilo que a teoria nos permite calcular.

Neste caso, o facto de ser um corte na massa ou não, aparenta não ser relevante nos esforços envolvidos no processo, como se representa também na Figura 75.

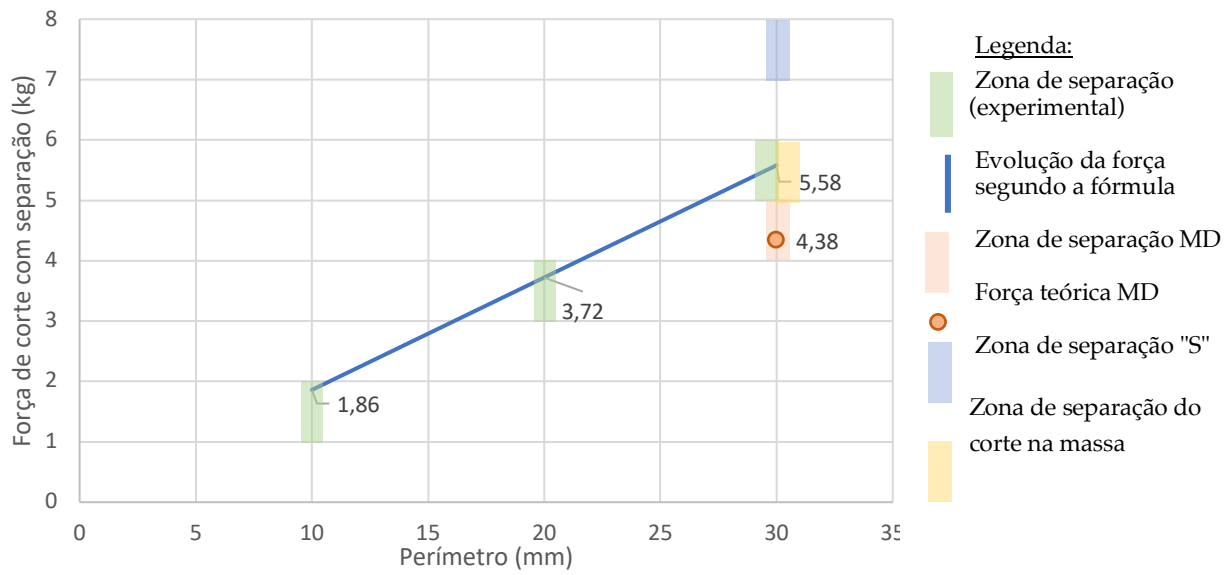


Figura 75 - Representação gráfica dos resultados finais (corte na massa inclusivê)

CONCLUSÃO

A conclusão desta dissertação tem duas partes.

Na primeira parte é feita uma reflexão sobre as aplicações práticas do estudo realizado sobre o método de fabrico de corte com matriz. Ou seja, um resumo do que se concluiu sobre possíveis problemas na fase de projeto do equipamento produzido na empresa Metal-Conser, Lda, onde se desenvolveu a maioria desta dissertação.

Na segunda parte resumem-se os resultados obtidos na fase experimental deste relatório, onde se testou a relação entre alguns parâmetros da geometria de um cortante utilizado no processo de corte com matriz, de forma investigar se a variação destes poderia comprometer a fiabilidade dos resultados obtidos teoricamente, no cálculo da força de prensa necessária para realizar o corte (com separação) do material.

No final sugerem-se ainda possíveis caminhos a seguir para a continuação do estudo deste mecanismo de corte.

7.1 Sobre o projeto estudado

Do estudo realizado sobre tudo o que diz respeito a corte com matriz e corte por indentação, as principais falhas encontradas no projeto do equipamento analisado neste relatório são as seguintes:

- Houve uma falha na dimensionamento inicial da prensa, ao estabelecer-se como força máxima de produção 100 kgf. Através da fórmula de cálculo utilizada na indústria, a força necessária para realizar o corte com separação com o cortante de maior perímetro é de aproximadamente 350 kgf, logo os 100 kgf seriam sempre insuficientes.

- A escolha dos cortantes utilizados na geometria mais complexa revelou-se inadequada. A espessura do fio de corte w era demasiado elevada, entrando na zona de w/t referida em [1] e [23] como uma zona onde a probabilidade de separação do material se torna praticamente nula. Para cortar um material com a espessura da película estudada (0,07mm), é necessário recorrer à menor espessura de lâmina possível, de forma a reduzir ao máximo a força de corte

necessária para ocorrer separação e aumentar a probabilidade de esta ocorrer, como se sugere em [18]

- A escolha do substrato de PE, apesar de se revelar eficaz em séries pequenas com cortantes em condições ideais, é susceptível à ocorrência de *dents* como descrito por [38], fenómeno que, no limite, torna a separação do material impossível. Seria mais adequado um substrato com uma dureza superior, que resistisse melhor à deformação plástica, de forma a permitir séries de produção maiores. No entanto, [39] sugere que a dureza do substrato escolhido não deve superar um certo limite, que depende do material e tratamento térmico da lâmina utilizada.

Para além dos problemas encontrados no equipamento estudado, concluiu-se também que a indução de uma temperatura (à volta de 40 °C) na lâmina de corte reduz significativamente os esforços envolvidos no processo de corte [28][30].

Dos testes efetuados no (Cap. 4) e da literatura encontrada, concluiu-se também que a adopção de um modo de atuação da máquina, em que a força fosse exercida com velocidade (por impacto), em vez de um aumento de força contínuo, como a atuação pneumática, podia revelar-se vantajoso para garantir a eficácia do corte.

Resumindo, e para dar resposta a um dos objetivos desta dissertação, conclui-se que o equipamento estudado é passível de ser modificado de forma a obter melhores resultados, sendo essas alterações:

- Maquinação dos cortantes da matriz de corte (ou aquisição de novos) de forma a utilizar uma lâmina com w máximo de 0,02 mm (como sugere [23]);
- Utilização de um material com dureza superior como substrato/sofrideira;
- Indução de uma pequena corrente elétrica que permita aquecer o cortante num intervalo entre 30 °C e 45 °C;
- Desenvolvimento de um mecanismo que permita adaptar a prensa de forma a aplicar a força com uma velocidade superior, ou mesmo através do impacto com uma velocidade, v , a definir.

No final do estágio realizado na primeira fase desta dissertação, foi possível visitar as instalações da empresa cliente, BHL Medical. Esta experiência revelou-se bastante enriquecedora não só pelo contacto direto com o cliente, mas também porque permitiu visitar todas as linhas de produção e constatar que muitas das alterações sugeridas nesta dissertação (que tinham sido discutidas com o cliente enquanto integrado na Metal-Conser, Lda) estavam já integradas no equipamento também aqui descrito e estudado. Apesar disso, a empresa optou por adquirir um segundo equipamento que efetua a mesma operação mas através de um laser de alta potência, de forma a cobrir as necessidades de produção.

7.2 Sobre os resultados experimentais

A fase laboratorial desta dissertação revelou-se uma caminhada de aprendizagem e tentativa e erro, pela experiência adquirida no desenvolvimento e aplicação do método experimental e por todas as dificuldades que advém de criar esse método, sem nunca ter sido testado ou melhorado.

Apesar de todas as dificuldades, e da ausência de comparação com uma das geometrias propostas, foi possível estabelecer várias relações entre diferentes parâmetros geométricos do perímetro de corte, com resultados que aparentam ter sido realizados em condições próximas das ideais.

A fórmula utilizada no cálculo de força do corte com matriz ($F_c = L * t * S$), testada neste relatório (deixando de fora a força de prensa, por não contemplar nenhum parâmetro para além de F_c), revelou-se bastante adequada em todos os testes realizados, sempre que se tratou de geometrias retilíneas.

No entanto, no que toca à geometria em forma de "S", a fórmula estima um valor com um erro que ronda os 25% (assumindo 7,5kgf como ponto de separação experimental). Este resultado reforça outros obtidos sobre a relação da força com geometrias mais complexas. No entanto, apesar da qualidade do corte obtido e das condições do ensaio, como se trata de apenas um ensaio, é necessário aplicar uma abordagem cuidadosa na análise dos dados.

Das outras variáveis estudadas, nenhuma pareceu influenciar os resultados.

- A força progrediu consoante o perímetro como previsto teoricamente;
- O corte na massa não revelou diferenças significativas na força necessária para ocorrer separação;
- As estimativas da força de corte necessária para realizar o corte mativeram-se de acordo com o observado tanto na direção TD como MD.

Conclui-se, portanto, que:

1. O método experimental adoptado pode ser utilizado para estudos desta escala, ainda que, nas geometrias mais complexas seja necessário realizar modificações (a nível do suporte, montagem ou lâmina).
2. As fórmulas de estimativa da força de corte com matriz e da força de prensa mais vulgarmente utilizadas na indústria apresentam resultados que são concordantes com aqueles obtidos nos testes realizados no desenvolvimento deste relatório, no que diz respeito a geometrias retilíneas.
3. Os resultados obtidos no teste com a geometria em "S" apresentam um valor $\sim 25\%$ superior aos estimados pela fórmula de cálculo. Isto indica que existe uma influência da geometria do contorno do cortante na força necessária para o corte. No entanto, esta conclusão baseia-se apenas num ensaio bem sucedido.

7.3 Propostas de trabalho futuro

O desenvolvimento deste dissertação pode servir de base a outros estudos, quer seja com o intuito de continuar a comparação da força de corte para geometrias de diferente complexidade, com o valor calculado pela fórmula de cálculo que consta na literatura; de caracterizar mecanicamente o corte de outros materiais, utilizando o método experimental aqui apresentado; ou mesmo de criar um algoritmo ou sistema mecânico, que seja possível implementar no sistema utilizado, de forma a reduzir a influência da rotação do motor nos dados recolhidos - redução do ruído dos dados.

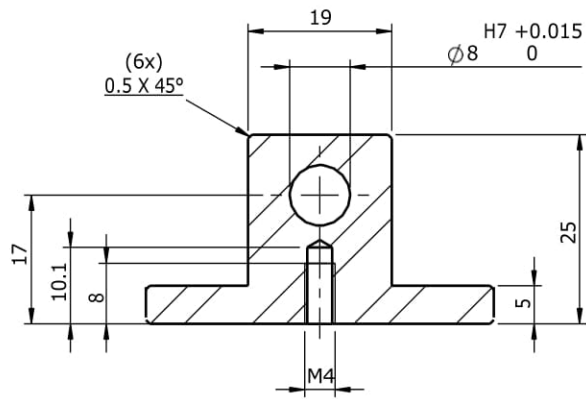
BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Murayama, S. Nagasawa, Y. Fukuzawa e I. Katayama, "Cutting Mechanism and Load Characteristic of Trapezoidal Center Bevel Cutter Indented on Aluminum Sheet," *JSME International Journal*, vol. 47, 2004.
- [2] W. Brocks, "Plasticity and Fracture," em *Solid Mechanics and Its Applications*, 244, Alemanha, Springer, 2018, p. 173.
- [3] P. Kumar, *Elements of Fracture Mechanics*, Nova Deli: McGraw Hill Education (India) Private Limited, 2009.
- [4] G. Galilei, "Dialogues Concerning Two New Sciences, translated by Henry Crew & Alfonso de Salvio," em *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Nova Iorque, 1954.
- [5] S. Timoshenko, *History of Strength of Materials*, Nova Yorque: Dover Publications, Inc, 1983.
- [6] B. Cotterell, "The Past, Present, and Future of Fracture Mechanics," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 69, pp. 522-553, 2002.
- [7] E. Orowan, "Energy Criteria of Fracture," Massachusetts, 1954.
- [8] W. K. Wilson, "Combined Mode Fracture Mechanics," Pittsburgh, 1969.
- [9] J. R. Rice, "Elastic-Plastics Fracture Mechanics," em *International Congress of Theoretical and Applied Mechanics*, Moscovo, 1972.
- [10] O. T. Bruhns, "Some Remarks on the History of Plasticity-Heinrich Hencky, a Pioneer of the Early Years," *The History of Theoretical, Material and Computational Mechanics*, pp. 133-152.
- [11] H. Tresca, "On the "Flow of Solids" with the Practical Application in Forgings," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 18, pp. 114-150, 1867.
- [12] H. Tresca, "On Further Applications of the Flow of Solids," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 29, pp. 301-345, 1878.
- [13] G. A. Reilly, B. A. O. McCormack e D. Taylor, "Cutting Sharpness Measurement: a Critical Review," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 154, pp. 261-267, 2004.
- [14] R. Hill, E. H. Lee e S. J. Tupper, "The Theory of Wedge Indentation of Ductile Materials," *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 188, pp. 273-289, 1947.
- [15] C. Arcona e T. A. Dow, "The Role of Knife Sharpness in the Slitting of Plastic Films," *Journal of Materials Science*, vol. 31, pp. 1327-1334, 1996.

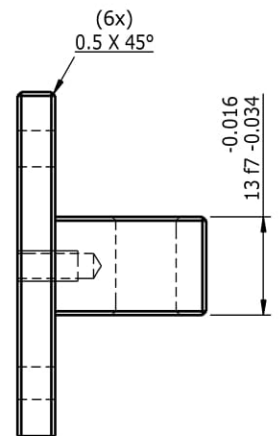
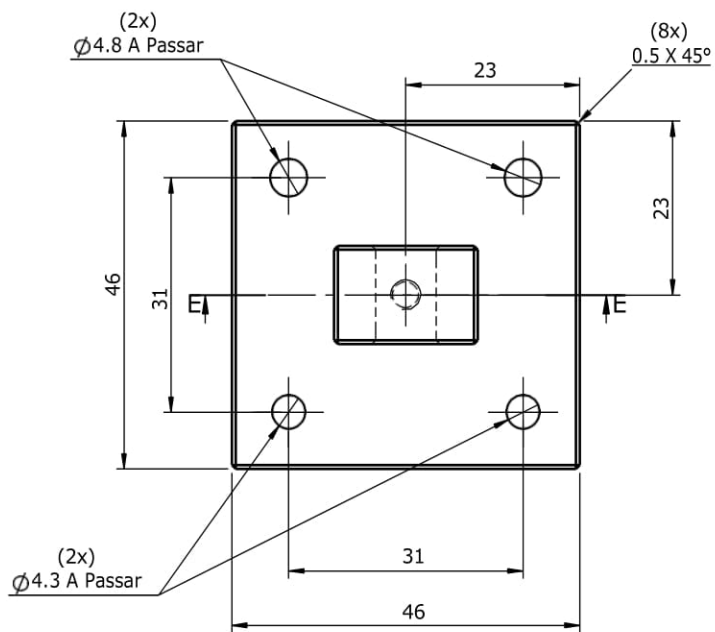
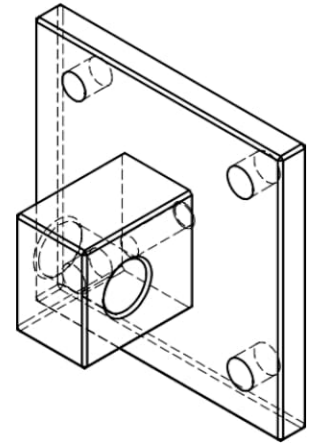
- [16] B. Balevi, "Engineering Specifics of the Periodontal Curet's Cutting Edge," *Journal of Periodontology*, vol. 67, p. 951, 1996.
- [17] M. Ciavarella, D. A. Hills e G. Monno, "Contact Problems for a Wedge with Rounded Apex," *International Journal of Mechanical Science*, vol. 40, pp. 977-988, 1998.
- [18] B. Chiaia, "Fracture Mechanisms Induced in a Brittle Material by a Hard Cutting Indenter," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 38, pp. 7747-7768, 2001.
- [19] M. Ciavarella e D. A. Hills, "The Influence of the Indenter Tip-Radius on Indentation Testing of Brittle Materials," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 19, pp. 239-245, 1999.
- [20] C. T. McCarthy, M. Hussey e M. D. Gilchrist, "On the Sharpness of Straight Edge Blades in Cutting Solids: Part I - Indentation Experiments," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 74, pp. 2205-2224, 2007.
- [21] C. T. McCarthy, A. Annaidh e M. D. Gilchrist, "On the Sharpness of Straight Blades in Cutting Soft Solids: Part II - Analysis of Blade Geometry," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 77, pp. 437-451, 2010.
- [22] A. S. Semenov, S. Semenov, B. E. Melnikov e V. S. Tikhonov, "Modeling of Indentation and Slip Wedge Punch," *Magazine of Civil Engineering*, vol. 74, pp. 78-101.
- [23] S. Chaijit, S. Nagasawa, Y. Fukuzawa, M. Murayama e I. Katayama, "Effect of Tip Profile on Cutting Processability of a Trapezoidal Cutting Blade Indented to an Aluminum Sheet," *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, vol. 1, pp. 1301-1321, 2006.
- [24] D. Abdul Hamid, S. Nagasawa, Y. Fukuzawa, K. Kojima e A. Hine, "Mechanical Characteristics of Center Bevelled Double Structure Blade," *Materials Transactions*, vol. 49, pp. 1199-1201, 2008.
- [25] S. Chaijit e S. Nagasawa, "Deformation Characteristics on Surface Layer of White-Coated Paperboard by Center Bevel Blade Subjected to Pushing Load," *Materials Science Forum*, vol. 594, pp. 39-44, 2008.
- [26] J. Guo, A. T. Zehnder, C. Creton e C.-Y. Hui, "Time Dependent Fracture of Soft Materials: Linear versus Nonlinear Viscoelasticity," *Soft Matter*, vol. 16, pp. 6163-6179, 2020.
- [27] W. G. Knauss, "Time Dependent Fracture of Polymers," *International series on the strength and fracture of materials and structures*, vol. 4, pp. 2683-2711, 1989.
- [28] A. Gent e C. Wang, "Cutting Resistance of Polyethylene," *Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics*, vol. 34, pp. 2231-2237, 1996.
- [29] H. E. H. Meijer e L. E. Govaert, "Mechanical Performance of Polymer Systems: The Relation Between Structure and Properties," *Progress in Polymer Science*, vol. 30, pp. 915-938, 2005.

- [30] H. Nguyen e S. Nagasawa, "Cutting Characteristics of Nylon-Polyethylene Laminated Film Subjected to Wedge Indentation and its Thermal Dependency," *Advances in Materials and Processing Technologies*, pp. 1-12, 2020.
- [31] H. H. M. Cleveringa, E. Van der Giessen e A. Needleman, "Comparison of Discrete Dislocation and Continuum Plasticity Predictions for a Composite Material," *Acta Metallurgica*, vol. 45, pp. 3163-3179, 1997.
- [32] P. Gudmundson, "A Unified Treatment of Strain Gradient Plasticity," *Journal of The Mechanics and Physics of Solids*, vol. 52, pp. 1379-1406, 2004.
- [33] P. Frederiksson e P.-L. Larsson, "Wedge Indentation of Thin Films Modelled by Strain Gradient Plasticity," *International Journal of Solids and Structures*, vol. 45, pp. 5556-5566, 2008.
- [34] C. Shao, P. Zhang, Y. Zhu, Z. Zhang, Y. Tian e Z. Zhang, "Simultaneous Improvement of Strength and Plasticity: Additional Work-Hardening from Gradient Microstructure," *Acta Materialia*, vol. 145, pp. 413-428, 2018.
- [35] S. Nagasawa, M. Fujikura e Y. Fukuzawa, "Finite Element Analysis of Cutting Deformation of Stacked Polycarbonate Sheets Subjected to Two-Line Wedge Indentation," *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, vol. 5, pp. 721-731, 2011.
- [36] K. Budinski, "Tool wear in cutting plastic - abrasion or erosion?," *Wear*, Vols. 1 de 2233-235, pp. 362-371, 1999.
- [37] X.-H. Xu e D. Rowcliffe, "Finite element analysis of substrate effects on indentation behaviour of thin films," *Thin Solid Films*, vol. 448, pp. 399-405, 2004.
- [38] S. Nagasawa, S. Nagae, Y. Fukuzawa, S. Chaijit, K. Yamashita, M. Murayama e K. Isamu, "Effect of surface hardness of counter plate on crushing of blade tip during pushing shear of paperboard," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 193, pp. 265-275, 2007.
- [39] S. Chaijit, S. Nagasawa, Y. Fukuzawa, M. Murayama e I. Katayama, "Effect of Hardness Combination on Contact Deformation of Center Bevel Blade with Counter Plate subjected to a Pushing Load," *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, vol. 1, pp. 907-918, 2007.
- [40] Z. H. Zhang, Z. L. Liu, X. M. Liu, Y. Gao e Z. Zhuang, "Wedge Indentation of a thin film on a substrate based on micromorphic plasticity," *Acta Mechanica*, vol. 221, pp. 133-145, 2011.
- [41] L. Chen, K. Zeng, Y.-W. Zhang, C. She e G. R. Liu, "A new approach to determine wedge-indented interfacial toughness in soft-film hard-substrate systems with application to low-k films on Si substrate," *Journal of Materials Research*, vol. 27, pp. 2872-2883, 2012.

A
DESENHOS TÉCNICOS



SECTION E-E



PROJ.	J.Piteira	15/02/2022
DES.	H.Silva	-
VERIF.	-	-
APROV.	-	-
MATERIAL :	CK45	
TRATAMENTO :	-	
QUANT. :	1	
OBRA N. :	999/2022	
FOLHA :	1 de 1	
DETALHE:		

Designação:

Fixador Prensa

MAQUINA:

Jig Prensa Testes

Destino

UNL

**METAL
CONSER**

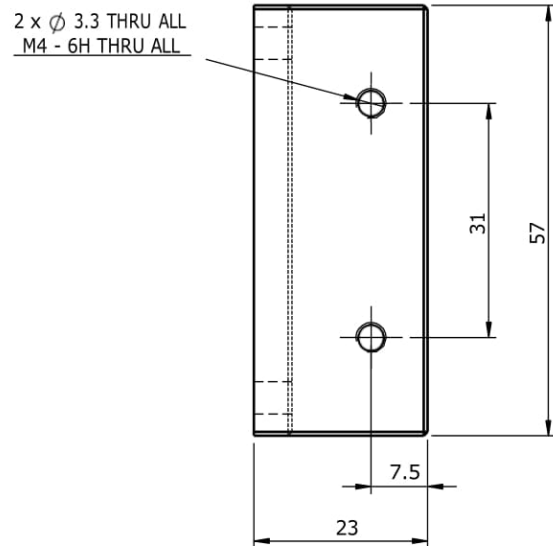
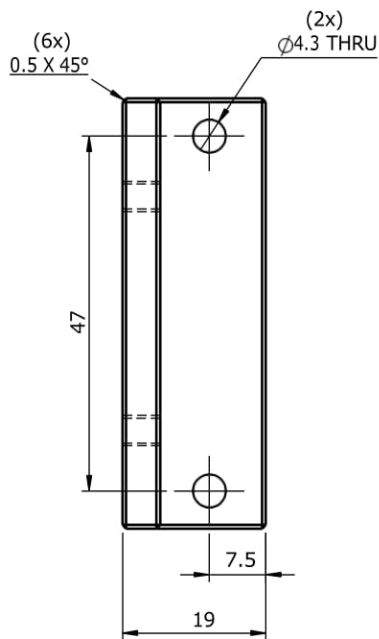
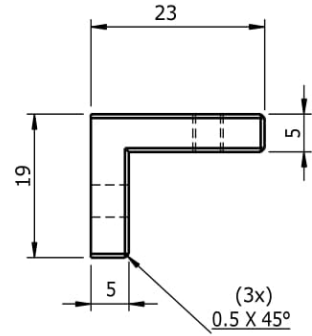
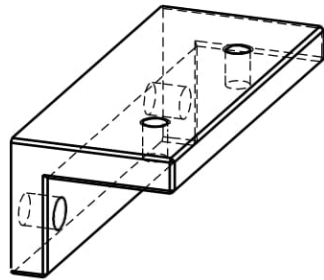


Nº DES.

22.999.01.00.00

NP
265

SIZE
A4



PROJ.	J.Piteira	15/02/2022
DES.	H.Silva	-
VERIF.	-	-
PROV.	-	-
MATERIAL :	CK45	
TRATAMENTO :	-	
QUANT. :	2	
OBRA N. :	999/2022	
FOLHA :	1 de 1	
DETALHE:		

Designação:
Suporte Retilíneo

MAQUINA:
Jig Prensa Testes

Destino
UNL

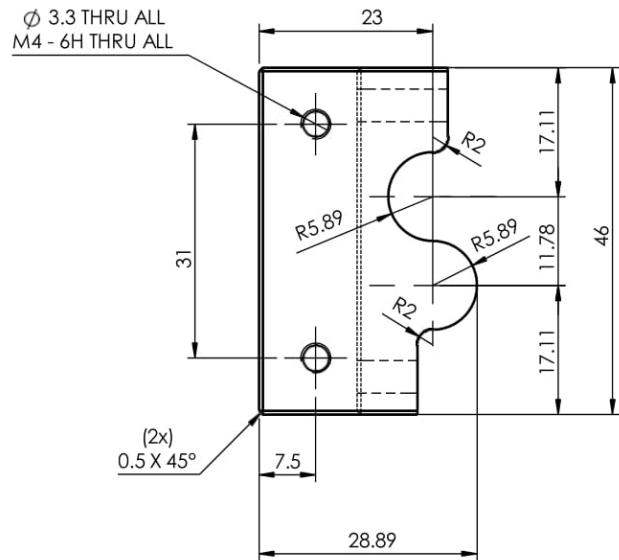
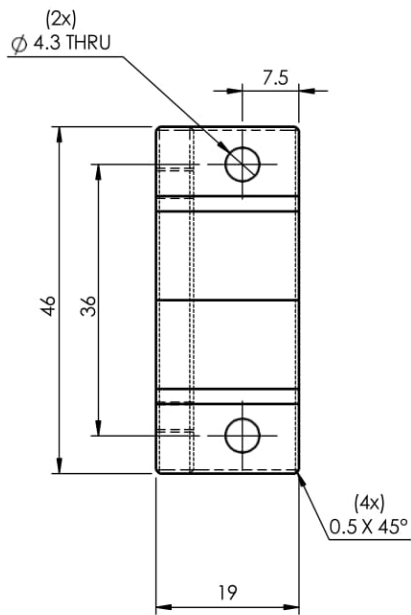
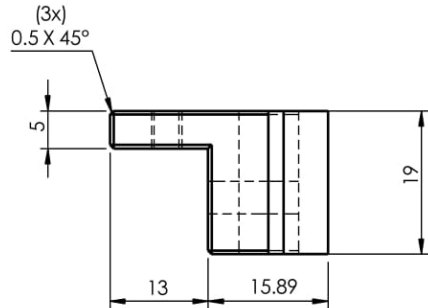
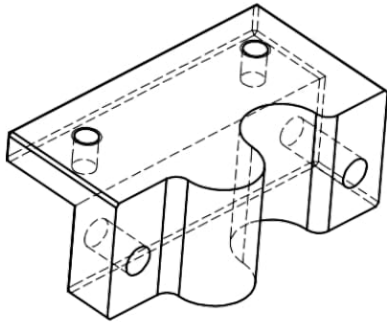
**METAL
CONSER**



Nº DES.
22.999.03.00.00

NP
265

SIZE
A4



PROJ.	J.Piteira	15/02/2022
DES.	H.Silva	-
VERIF.	-	-
APROV.	-	-
MATERIAL : CK45		
TRATAMENTO : _		
QUANT. : 2		
OBRA N. : 999/2022		
FOLHA : 1 de 1		
DETALHE:		

Designação:

Suporte S

MAQUINA:

Jig Prensa Testes

Destino

UNL

**METAL
CONSER**

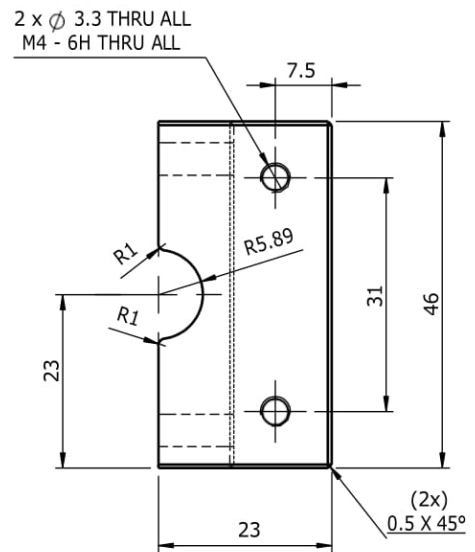
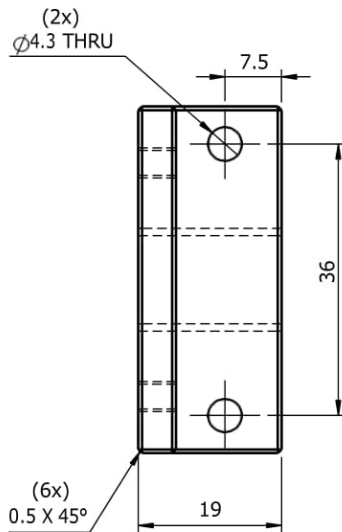
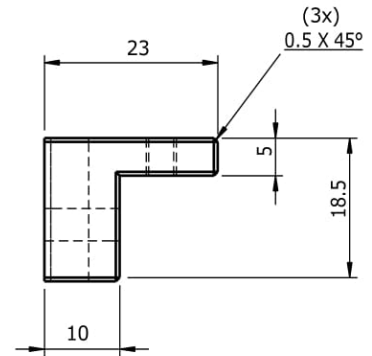
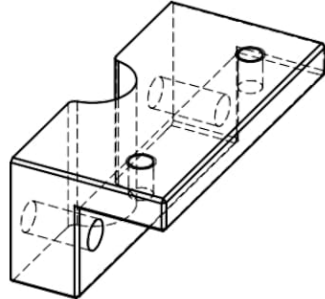


Nº DES.

22.999.02.00.00

NP
265

SIZE
A4



PROJ.	J.Piteira	15/02/2022
DES.	H.Silva	-
VERIF.	-	-
APROV.	-	-
MATERIAL : CK45		
TRATAMENTO : _		
QUANT. : 2		
OBRA N. : 999/2022		
FOLHA :1 de 1		
DETALHE:		

Designação:

Suporte Circular

MAQUINA:

Jig Prensa Testes

Destino

UNL

**METAL
CONSER**



Nº DES.

22.999.04.00.00

NP
265

SIZE
A4

B

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

10mm - 1º ensaio

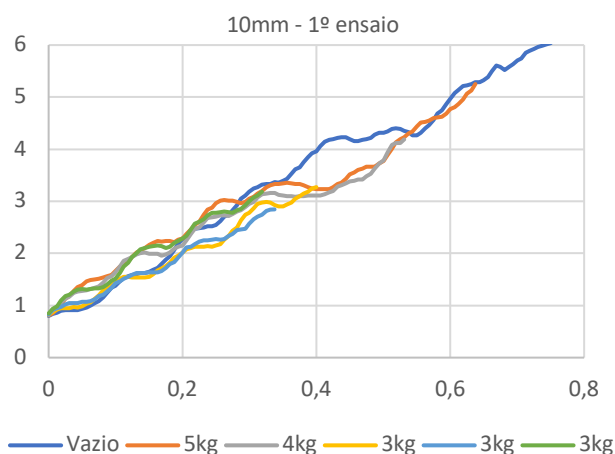


Figura 77 - Gráfico força - deslocamento - 10mm_1º ensaio

10mm - 2º ensaio

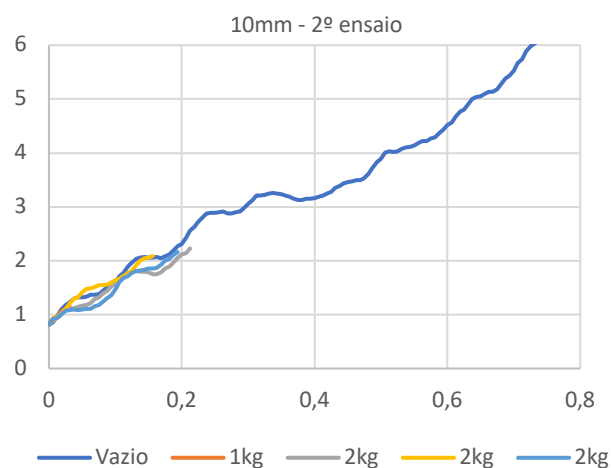


Figura 76 - Gráfico força - deslocamento - 10mm_2º ensaio

		1º ensaio				
		Força Máxima/ F(kg)				
		S	S	D/d	D/d	S
x (mm)	Vazio	4kg	3kg	2kg	1kg	3kg
0	0,7992	0,810	0,8171	0,8261	0,8248	0,8475
0,00625	0,8325	0,855	0,9175	0,8763	0,9054	0,9323
0,0125	0,8603	0,937	0,9693	0,919	0,9469	0,9898
0,01875	0,9036	1,024	1,0605	0,9452	0,9675	1,0986
0,025	0,907	1,133	1,1304	0,9453	1,0179	1,1789
0,03125	0,9117	1,188	1,17	0,9545	1,0455	1,2015
0,0375	0,9114	1,285	1,2397	0,9706	1,0494	1,2623
0,04375	0,9115	1,353	1,2669	0,9662	1,0514	1,3086
0,05	0,935	1,392	1,2756	0,9873	1,0728	1,313
0,05625	0,9558	1,460	1,2953	1,0349	1,0738	1,3082
0,0625	1,0028	1,486	1,3165	1,0644	1,0825	1,3203

		2º ensaio			
		Força Máxima/ F(kg)			
		D	S	D/d	S
x (mm)	Vazio	1kg	2kg	2kg	2kg
0	0,8091	0,8281	0,8024	0,8196	0,815
0,00625	0,8617	0,929	0,9039	0,8883	0,9128
0,0125	0,9801	0,9677	0,9387	0,9622	0,9468
0,01875	1,094	1,0576	1,0192	1,0061	1,004
0,025	1,1795	1,1224	1,0883	1,1062	1,0696
0,03125	1,222	1,1515	1,1115	1,2073	1,0888
0,0375	1,2919		1,1205	1,2929	1,0916
0,04375	1,32		1,1479	1,3265	1,0874
0,05	1,3204		1,1713	1,4128	1,0917
0,05625	1,3388		1,175	1,4798	1,1054
0,0625	1,3639		1,2185	1,4903	1,1108

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	3kg	3kg	3kg
0,06875	1,049	1,502	1,3395	1,1267	1,1245	1,3264
0,075	1,0812	1,518	1,3676	1,1978	1,1779	1,3263
0,08125	1,1613	1,540	1,4367	1,2977	1,2075	1,3555
0,0875	1,2451	1,560	1,5228	1,3491	1,2663	1,4068
0,09375	1,3446	1,589	1,5595	1,4384	1,3415	1,4779
0,1	1,3844	1,659	1,6407	1,4864	1,4301	1,5199
0,10625	1,4652	1,742	1,7513	1,511	1,4683	1,6193
0,1125	1,5276	1,777	1,8544	1,5485	1,5166	1,7491
0,11875	1,561	1,844	1,8922	1,5503	1,5533	1,8208
0,125	1,5859	1,933	1,9334	1,5329	1,5817	1,9371
0,13125	1,5969	2,024	1,9869	1,5324	1,6203	2,0107
0,1375	1,6289	2,056	2,0091	1,5431	1,6252	2,0824
0,14375	1,628	2,103	2,0156	1,5366	1,6247	2,1072
0,15	1,6489	2,169	1,995	1,5508	1,6363	2,124
0,15625	1,6919	2,202	1,9888	1,6037	1,6355	2,1383
0,1625	1,7211	2,234	1,9873	1,6736	1,6391	2,1475
0,16875	1,8008	2,226	1,9602	1,7104	1,6586	2,1465
0,175	1,8806	2,236	1,9859	1,7643	1,7226	2,1077
0,18125	1,9417	2,239	2,015	1,8239	1,8018	2,1314
0,1875	2,0698	2,217	2,0876	1,9168	1,8355	2,2007
0,19375	2,1927	2,259	2,1331	1,9613	1,9163	2,242
0,2	2,2727	2,292	2,1582	2,0123	2,0238	2,294
0,20625	2,3152	2,378	2,2476	2,0741	2,1101	2,3411
0,2125	2,4083	2,455	2,3777	2,1008	2,1327	2,4587
0,21875	2,4717	2,546	2,4743	2,1224	2,1826	2,5694
0,225	2,4808	2,608	2,5024	2,1223	2,2325	2,6079
0,23125	2,4974	2,741	2,5959	2,1342	2,2492	2,6553
0,2375	2,5217	2,847	2,6758	2,1403	2,2544	2,7292
0,24375	2,5257	2,878	2,69	2,1235	2,2647	2,7747
0,25	2,543	2,961	2,7055	2,1549	2,2717	2,7807
0,25625	2,6168	3,018	2,7312	2,1833	2,2675	2,7892
0,2625	2,7048	3,025	2,728	2,2669	2,282	2,8027
0,26875	2,7474	3,016	2,72	2,3385	2,3378	2,7983
0,275	2,8243	3,016	2,7581	2,4315	2,3747	2,7756
0,28125	2,9232	2,990	2,804	2,4955	2,4473	2,8236
0,2875	3,0478	2,968	2,8301	2,6272	2,4575	2,8551
0,29375	3,107	2,994	2,8863	2,7414	2,4784	2,924
0,3	3,183	3,054	2,9524	2,7792	2,5675	2,9973
0,30625	3,2435	3,093	2,9938	2,87	2,6612	3,0787
0,3125	3,277	3,150	3,0796	2,9485	2,7119	3,1119
0,31875	3,322	3,198	3,1354	2,9715	2,7433	3,1856

x (mm)	Vazio	1kg	2kg	2kg	2kg
0,06875	1,3665		1,2874	1,5077	1,1493
0,075	1,3864		1,3245	1,5443	1,1752
0,08125	1,4413		1,389	1,5508	1,2434
0,0875	1,5075		1,4379	1,5573	1,3122
0,09375	1,545		1,5178	1,594	1,3573
0,1	1,6104		1,5726	1,6451	1,4743
0,10625	1,7123		1,6662	1,6707	1,6034
0,1125	1,7745		1,7106	1,7167	1,6834
0,11875	1,8891		1,7437	1,7693	1,7141
0,125	1,9582		1,8053	1,8131	1,7683
0,13125	2,0302		1,8124	1,9182	1,8101
0,1375	2,0557		1,7958	2,0005	1,8152
0,14375	2,0738		1,7922	2,0431	1,8356
0,15	2,06		1,783	2,0631	1,8615
0,15625	2,0602		1,7484	2,0869	1,8619
0,1625	2,0757		1,7524		1,8696
0,16875	2,0512		1,7859		1,9269
0,175	2,0799		1,859		2,0006
0,18125	2,112		1,8949		2,0368
0,1875	2,1907		1,9666		2,1003
0,19375	2,2731		2,063		2,1635
0,2	2,3117		2,1194		
0,20625	2,4208		2,1449		
0,2125	2,5609		2,2287		
0,21875	2,6305				
0,225	2,7276				
0,23125	2,806				
0,2375	2,875				
0,24375	2,8902				
0,25	2,8879				
0,25625	2,899				
0,2625	2,9092				
0,26875	2,8812				
0,275	2,8832				
0,28125	2,8974				
0,2875	2,9081				
0,29375	2,9725				
0,3	3,058				
0,30625	3,1138				
0,3125	3,2059				
0,31875	3,2087				

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	3kg	3kg	3kg
0,325	3,3298	3,270	3,1486	2,9885	2,811	
0,33125	3,3389	3,304	3,1565	2,9764	2,8437	
0,3375	3,3681	3,337	3,1555	2,9328	2,8457	
0,34375	3,3632	3,333	3,1206	2,9046		
0,35	3,3949	3,342	3,1084	2,8992		
0,35625	3,436	3,353	3,1008	2,942		
0,3625	3,5282	3,339	3,0992	2,9761		
0,36875	3,6219	3,332	3,0921	3,0474		
0,375	3,6576	3,331	3,1017	3,0991		
0,38125	3,7535	3,311	3,1008	3,1539		
0,3875	3,848	3,271	3,1094	3,1857		
0,39375	3,9252	3,251	3,1066	3,2472		
0,4	3,9652	3,233	3,1092	3,273		
0,40625	4,0525	3,238	3,1134			
0,4125	4,1453	3,234	3,1303			
0,41875	4,177	3,235	3,1693			
0,425	4,198	3,272	3,2023			
0,43125	4,2219	3,334	3,2798			
0,4375	4,2365	3,361	3,3143			
0,44375	4,233	3,427	3,3497			
0,45	4,1942	3,517	3,379			
0,45625	4,1524	3,556	3,3996			
0,4625	4,1506	3,600	3,4232			
0,46875	4,1751	3,625	3,4218			
0,475	4,1915	3,661	3,4836			
0,48125	4,2165	3,666	3,5272			
0,4875	4,2783	3,661	3,6263			
0,49375	4,3216	3,731	3,7235			
0,5	4,3194	3,776	3,7837			
0,50625	4,3405	3,892	3,9339			
0,5125	4,3911	4,005	4,0799			
0,51875	4,399	4,131	4,1186			
0,525	4,3851	4,193	4,1258			
0,53125	4,3534	4,229	4,1899			
0,5375	4,3319	4,299				
0,54375	4,2663	4,345				
0,55	4,2615	4,444				
0,55625	4,3165	4,517				
0,5625	4,4055	4,530				
0,56875	4,4598	4,546				
0,575	4,5594	4,594				
0,58125	4,6837	4,613				
0,5875	4,7488	4,620				

x (mm)	Vazio	1kg	2kg	2kg	2kg
0,325	3,2267				
0,33125	3,2453				
0,3375	3,2625				
0,34375	3,2491				
0,35	3,2288				
0,35625	3,2051				
0,3625	3,1831				
0,36875	3,1505				
0,375	3,1264				
0,38125	3,1331				
0,3875	3,1506				
0,39375	3,1548				
0,4	3,1609				
0,40625	3,1894				
0,4125	3,2152				
0,41875	3,2436				
0,425	3,2766				
0,43125	3,3524				
0,4375	3,3876				
0,44375	3,4337				
0,45	3,4578				
0,45625	3,4718				
0,4625	3,5014				
0,46875	3,5011				
0,475	3,5292				
0,48125	3,617				
0,4875	3,727				
0,49375	3,8339				
0,5	3,8888				
0,50625	4,0095				
0,5125	4,0278				
0,51875	4,0192				
0,525	4,0302				
0,53125	4,076				
0,5375	4,1009				
0,54375	4,113				
0,55	4,138				
0,55625	4,1901				
0,5625	4,2146				
0,56875	4,2226				
0,575	4,2657				
0,58125	4,2923				
0,5875	4,3582				

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	3kg	3kg	3kg
0,59375	4,8727	4,689				
0,6	4,9707	4,769				
0,60625	5,0787	4,806				
0,6125	5,1344	4,871				
0,61875	5,2099	4,957				
0,625	5,232	5,065				
0,63125	5,2502	5,126				
0,6375	5,2927	5,252				
0,64375	5,2926					
0,65	5,3282					
0,65625	5,3801					
0,6625	5,501					
0,66875	5,6018					
0,675	5,5813					
0,68125	5,5215					
0,6875	5,5772					
0,69375	5,6269					
0,7	5,7					
0,70625	5,7456					
0,7125	5,8501					
0,71875	5,8915					
0,725	5,9229					
0,73125	5,9644					
0,7375	5,9914					
0,74375	6,0094					
0,75	6,0355					
0,75625	6,1375					
0,7625	6,1962					
0,76875	6,3184					
0,775	6,4259					
0,78125	6,4938					
0,7875	6,65					
0,79375	6,7882					
0,8	6,8751					
0,80625	6,9223					
0,8125	7,0165					
0,81875	7,0701					
0,825	7,0774					
0,83125	7,1078					
0,8375	7,1472					
0,84375	7,1489					

x (mm)	Vazio	1kg	2kg	2kg	2kg
0,59375	4,4323				
0,6	4,5161				
0,60625	4,5693				
0,6125	4,6761				
0,61875	4,7712				
0,625	4,8066				
0,63125	4,9062				
0,6375	5,0047				
0,64375	5,0388				
0,65	5,0541				
0,65625	5,1016				
0,6625	5,1384				
0,66875	5,1342				
0,675	5,1878				
0,68125	5,2798				
0,6875	5,3887				
0,69375	5,4352				
0,7	5,5325				
0,70625	5,6717				
0,7125	5,7473				
0,71875	5,8886				
0,725	5,98				
0,73125	6,0216				
0,7375	6,0946				
0,74375	6,1119				
0,75	6,1005				
0,75625	6,1153				
0,7625	6,1561				
0,76875	6,1739				
0,775	6,2097				
0,78125	6,3094				
0,7875	6,4294				
0,79375	6,538				
0,8	6,5981				
0,80625	6,75				
0,8125	6,9111				
0,81875	6,9862				
0,825	7,1001				
0,83125	7,2194				
0,8375	7,2741				
0,84375	7,3456				

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	3kg	3kg	3kg
0,85	7,1627					
0,85625	7,2653					
0,8625	7,3991					
0,86875	7,4673					
0,875	7,5865					
0,88125	7,7469					
0,8875	7,8364					
0,89375	8,0128					
0,9	8,1403					
0,90625	8,2749					
0,9125	8,3384					
0,91875	8,4228					
0,925	8,45					
0,93125	8,473					
0,9375	8,5316					
0,94375	8,5311					
0,95	8,5438					
0,95625	8,6494					
0,9625	8,7885					
0,96875	8,9287					
0,975	8,9872					
0,98125	9,149					
0,9875	9,3351					
0,99375	9,4224					
1	9,5492					
1,00625	9,668					
1,0125	9,7796					
1,01875	9,8171					
1,025	9,8387					
1,03125	9,8738					

x (mm)	Vazio	1kg	2kg	2kg	2kg
0,85	7,3765				
0,85625	7,4165				
0,8625	7,4388				
0,86875	7,4398				
0,875	7,5101				
0,88125	7,5623				
0,8875	7,6813				
0,89375	7,7944				
0,9	7,9234				
0,90625	8,0008				
0,9125	8,1663				
0,91875	8,3074				
0,925	8,3585				
0,93125	8,4791				
0,9375	8,5796				
0,94375	8,6109				
0,95	8,6375				
0,95625	8,6774				
0,9625	8,7096				
0,96875	8,7001				
0,975	8,7563				
0,98125	8,8619				
0,9875	8,9226				
0,99375	9,0409				
1	9,1609				
1,00625	9,3231				
1,0125	9,4095				
1,01875	9,5653				
1,025	9,6816				
1,03125	9,7487				
1,0375	9,8613				
1,04375	9,9206				
1,05	9,9476				

10mm - 3º ensaio

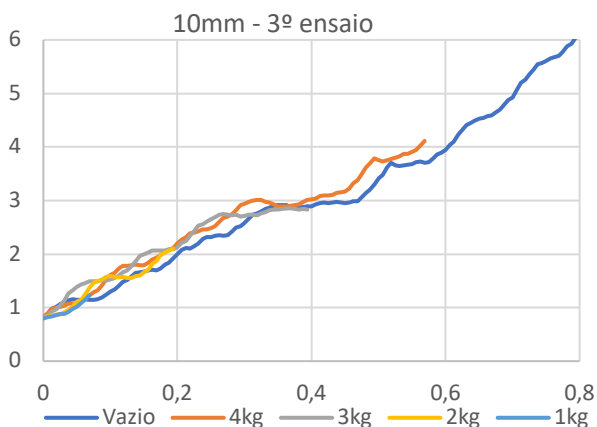


Figura 78 - Gráfico força - deslocamento - 10mm_3º ensaio

		3º ensaio			
		Força Máxima/ F(kg)			
		S	S	S	D/d
x (mm)	Vazio	4kg	3kg	2kg	1kg
0	0,813	0,8214	0,7926	0,81	0,7995
0,00625	0,8892	0,8998	0,8523	0,829	0,8208
0,0125	0,9746	0,9753	0,9268	0,8574	0,8353
0,01875	1,012	0,9996	0,9628	0,8721	0,8635
0,025	1,0598	1,0175	1,0346	0,8739	0,8857
0,03125	1,1118	1,0414	1,1384	0,9226	0,8829
0,0375	1,1364	1,0745	1,266	0,955	0,9165
0,04375	1,1583	1,0751	1,3187	1,0298	0,976
0,05	1,1448	1,0894	1,3836	1,1058	1,0123
0,05625	1,149	1,1382	1,4373	1,1443	1,0835
0,0625	1,1565	1,1675	1,4604	1,2447	1,144
0,06875	1,1426	1,2334	1,4934	1,3687	1,2312
0,075	1,1487	1,2866	1,4909	1,464	
0,08125	1,1606	1,3209	1,4968	1,4866	
0,0875	1,1945	1,419	1,5146	1,5304	
0,09375	1,2456	1,531	1,5091	1,5781	
0,1	1,2989	1,6073	1,5242	1,59	
0,10625	1,3335	1,6472	1,5472	1,5703	
0,1125	1,4114	1,7293	1,6013	1,5679	
0,11875	1,4816	1,7791	1,6643	1,57	
0,125	1,5109	1,7829	1,6902	1,5508	
0,13125	1,5816	1,7879	1,7647	1,5529	
0,1375	1,6442	1,8057	1,8682	1,5861	

20mm - 1º ensaio

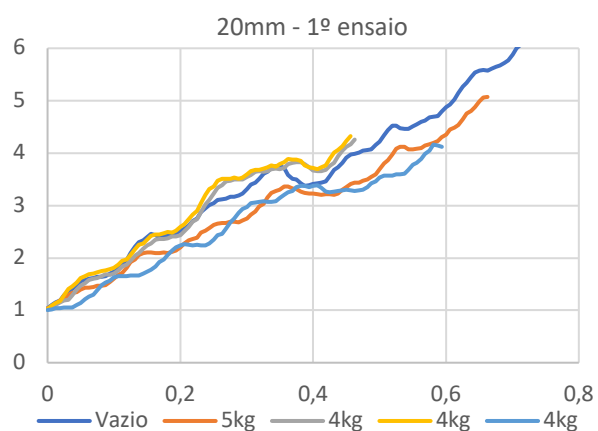


Figura 79 - Gráfico força - deslocamento - 20mm_1º ensaio

		1º ensaio			
		Força Máxima/ F(kg)			
		S	D/d	S	D/d
x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0	1,0402	1,038	1,011	1,0244	1,0051
0,00625	1,1009	1,067	1,0733	1,088	1,0221
0,0125	1,1551	1,123	1,105	1,1436	1,0373
0,01875	1,1931	1,184	1,1504	1,1779	1,0426
0,025	1,2813	1,216	1,1852	1,2896	1,0516
0,03125	1,3748	1,290	1,2022	1,4032	1,0499
0,0375	1,4081	1,336	1,2867	1,4571	1,0509
0,04375	1,4769	1,351	1,399	1,5349	1,1062
0,05	1,5568	1,401	1,4748	1,6159	1,1423
0,05625	1,5843	1,432	1,5175	1,6525	1,2087
0,0625	1,6045	1,436	1,5765	1,6918	1,2661
0,06875	1,6106	1,440	1,6076	1,6978	1,3022
0,075	1,6383	1,463	1,6197	1,7268	1,3875
0,08125	1,6371	1,474	1,6461	1,7532	1,4749
0,0875	1,646	1,486	1,6846	1,7615	1,5341
0,09375	1,7041	1,538	1,681	1,7907	1,5669
0,1	1,7356	1,601	1,7057	1,8153	1,6225
0,10625	1,8108	1,681	1,7659	1,8734	1,6496
0,1125	1,8987	1,716	1,8392	1,9424	1,647
0,11875	1,9575	1,806	1,8771	1,9736	1,6514
0,125	2,0876	1,922	1,9441	2,0585	1,6636
0,13125	2,2135	1,974	2,0415	2,1601	1,6656
0,1375	2,3051	2,054	2,09	2,2465	1,6677

x (mm)	Vazio	4kg	3kg	2kg	1kg
0,14375	1,6603	1,7897	1,9674	1,6054	
0,15	1,6707	1,7889	1,9896	1,6585	
0,15625	1,6921	1,8339	2,0272	1,7089	
0,1625	1,707	1,8968	2,0601	1,8162	
0,16875	1,6979	1,9301	2,0713	1,8742	
0,175	1,7342	1,9818	2,0621	1,9831	
0,18125	1,806	2,0441	2,0711	2,0342	
0,1875	1,8447	2,078	2,0906	2,0618	
0,19375	1,9197	2,1153	2,0847	2,1001	
0,2	1,9927	2,1946	2,1257		
0,20625	2,0776	2,2719	2,205		
0,2125	2,1098	2,3181	2,2486		
0,21875	2,1029	2,3837	2,339		
0,225	2,1508	2,4068	2,434		
0,23125	2,2019	2,421	2,5287		
0,2375	2,2813	2,4565	2,5534		
0,24375	2,314	2,458	2,6039		
0,25	2,3188	2,4849	2,6574		
0,25625	2,3358	2,5199	2,6898		
0,2625	2,3509	2,6025	2,7365		
0,26875	2,3369	2,6816	2,7421		
0,275	2,359	2,7008	2,7356		
0,28125	2,4245	2,7461	2,7279		
0,2875	2,4916	2,8238	2,7301		
0,29375	2,5213	2,9123	2,703		
0,3	2,577	2,9386	2,7146		
0,30625	2,6582	2,9707	2,7395		
0,3125	2,7354	3,0027	2,7327		
0,31875	2,7614	3,0111	2,7271		
0,325	2,7936	3,0066	2,7538		
0,33125	2,8426	2,9801	2,7829		
0,3375	2,8713	2,9673	2,814		
0,34375	2,9049	2,9219	2,8272		
0,35	2,9127	2,8897	2,8316		
0,35625	2,9169	2,8891	2,8458		
0,3625	2,916	2,8908	2,8513		
0,36875	2,8667	2,9088	2,8499		
0,375	2,8622	2,9211	2,8382		
0,38125	2,8711	2,9329	2,8363		
0,3875	2,8842	2,9704	2,8413		
0,39375	2,8905	3,0164	2,8367		
0,4	2,8943	3,0255			
0,40625	2,932	3,0401			

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,14375	2,3346	2,087	2,1726	2,2701	1,6948
0,15	2,4015	2,100	2,2356	2,3435	1,7395
0,15625	2,4546	2,106	2,2779	2,4165	1,7767
0,1625	2,4315	2,086	2,3453	2,4416	1,8393
0,16875	2,3913	2,089	2,363	2,448	1,917
0,175	2,4213	2,098	2,3651	2,4675	1,965
0,18125	2,416	2,098	2,3782	2,4957	2,0603
0,1875	2,4176	2,114	2,4139	2,4858	2,1348
0,19375	2,4673	2,143	2,4119	2,5167	2,2036
0,2	2,5239	2,203	2,4344	2,5976	2,2355
0,20625	2,5578	2,275	2,5092	2,6405	2,2621
0,2125	2,6162	2,337	2,5932	2,7354	2,2467
0,21875	2,7003	2,362	2,6873	2,8308	2,2425
0,225	2,7541	2,379	2,7405	2,8969	2,2477
0,23125	2,871	2,478	2,8719	3,0479	2,2406
0,2375	2,9477	2,523	3,0249	3,1997	2,2353
0,24375	3,009	2,568	3,1027	3,3085	2,2794
0,25	3,0428	2,625	3,2244	3,3686	2,3501
0,25625	3,1074	2,649	3,3333	3,4709	2,4281
0,2625	3,1218	2,663	3,388	3,5146	2,4638
0,26875	3,1266	2,671	3,4549	3,5121	2,5527
0,275	3,1621	2,691	3,4666	3,5139	2,6808
0,28125	3,1671	2,688	3,4928	3,5307	2,7512
0,2875	3,1901	2,676	3,5027	3,5153	2,8611
0,29375	3,2274	2,719	3,499	3,538	2,9354
0,3	3,3114	2,755	3,5499	3,5953	2,9765
0,30625	3,3995	2,830	3,5875	3,6571	3,0428
0,3125	3,4338	2,892	3,6452	3,6787	3,0568
0,31875	3,5146	2,979	3,6612	3,6746	3,0642
0,325	3,6087	3,037	3,6399	3,7023	3,0765
0,33125	3,6445	3,155	3,6519	3,7267	3,0747
0,3375	3,7191	3,238	3,6935	3,7672	3,0666
0,34375	3,7573	3,272	3,7103	3,7465	3,086
0,35	3,7509	3,308	3,6873	3,7907	3,1436
0,35625	3,7167	3,359	3,7117	3,8289	3,2074
0,3625	3,5852	3,357	3,7869	3,8832	3,252
0,36875	3,5108	3,330	3,8197	3,8794	3,2811
0,375	3,4933	3,311	3,8256	3,8785	3,346
0,38125	3,4275	3,261	3,8214	3,8573	3,3747
0,3875	3,3691	3,240	3,7851	3,7618	3,372
0,39375	3,3926	3,233	3,7318	3,7233	3,3559
0,4	3,407	3,224	3,6731	3,7172	3,3757
0,40625	3,4274	3,219	3,6567	3,6968	3,3837

x (mm)	Vazio	4kg	3kg	2kg	1kg
0,4125	2,9537	3,0807			
0,41875	2,9572	3,0947			
0,425	2,9556	3,0938			
0,43125	2,967	3,1084			
0,4375	2,9779	3,1469			
0,44375	2,9689	3,154			
0,45	2,9485	3,1652			
0,45625	2,9671	3,23			
0,4625	2,9815	3,3243			
0,46875	2,9895	3,379			
0,475	3,0538	3,4851			
0,48125	3,146	3,6164			
0,4875	3,1989	3,6882			
0,49375	3,3033	3,79			
0,5	3,4146	3,7528			
0,50625	3,4786	3,7315			
0,5125	3,6243	3,7492			
0,51875	3,7077	3,7788			
0,525	3,6588	3,8016			
0,53125	3,6405	3,8206			
0,5375	3,6512	3,867			
0,54375	3,669	3,8776			
0,55	3,6794	3,9121			
0,55625	3,7217	3,9449			
0,5625	3,7284	4,0231			
0,56875	3,6997	4,1132			
0,575	3,7177				
0,58125	3,7842				
0,5875	3,8596				
0,59375	3,8907				
0,6	3,9391				
0,60625	4,0432				
0,6125	4,1026				
0,61875	4,2251				
0,625	4,3159				
0,63125	4,4061				
0,6375	4,4479				
0,64375	4,4945				
0,65	4,5239				
0,65625	4,5426				
0,6625	4,5823				

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,4125	3,4398	3,207	3,65	3,7339	3,3414
0,41875	3,4647	3,213	3,6809	3,7641	3,2655
0,425	3,5536	3,216	3,7486	3,8841	3,2528
0,43125	3,6815	3,204	3,8093	4,0087	3,2639
0,4375	3,7336	3,231	3,941	4,0592	3,2727
0,44375	3,8166	3,298	4,0512	4,1307	3,2923
0,45	3,9086	3,344	4,119	4,2258	3,3025
0,45625	3,9689	3,415	4,1667	4,3243	3,2911
0,4625	3,9816	3,431	4,2581		3,2792
0,46875	4,0044	3,438			3,2911
0,475	4,0453	3,475			3,2977
0,48125	4,0567	3,501			3,3526
0,4875	4,0707	3,550			3,4258
0,49375	4,16	3,593			3,4605
0,5	4,2175	3,692			3,5279
0,50625	4,3376	3,808			3,5668
0,5125	4,436	3,859			3,5723
0,51875	4,5294	3,971			3,573
0,525	4,5196	4,088			3,5977
0,53125	4,4719	4,123			3,5966
0,5375	4,4592	4,122			3,6104
0,54375	4,4661	4,070			3,6857
0,55	4,5141	4,073			3,7727
0,55625	4,549	4,079			3,8144
0,5625	4,5944	4,091			3,8882
0,56875	4,6229	4,140			3,9803
0,575	4,6795	4,168			4,0461
0,58125	4,695	4,199			4,1629
0,5875	4,7082	4,229			4,1405
0,59375	4,7879	4,305			4,1201
0,6	4,8763	4,353			
0,60625	4,9311	4,445			
0,6125	5,0273	4,491			
0,61875	5,1431	4,533			
0,625	5,2741	4,649			
0,63125	5,3391	4,756			
0,6375	5,4487	4,798			
0,64375	5,5321	4,8838			
0,65	5,5712	4,9896			
0,65625	5,5855	5,0621			
0,6625	5,58	5,0722			

x (mm)	Vazio	4kg	3kg	2kg	1kg
0,66875	4,5925				
0,675	4,6546				
0,68125	4,6957				
0,6875	4,7931				
0,69375	4,8807				
0,7	4,9286				
0,70625	5,0565				
0,7125	5,1996				
0,71875	5,2607				
0,725	5,3499				
0,73125	5,4548				
0,7375	5,548				
0,74375	5,5737				
0,75	5,606				
0,75625	5,6577				
0,7625	5,6825				
0,76875	5,7003				
0,775	5,7743				
0,78125	5,8753				
0,7875	5,9339				
0,79375	6,0392				
0,8	6,1611				
0,80625	6,2339				
0,8125	6,3884				
0,81875	6,5289				
0,825	6,5786				
0,83125	6,6943				
0,8375	6,7967				
0,84375	6,8454				
0,85	6,8614				
0,85625	6,9013				
0,8625	6,9362				
0,86875	6,9316				
0,875	6,987				
0,88125	7,0881				
0,8875	7,2048				
0,89375	7,2583				
0,9	7,3716				
0,90625	7,523				
0,9125	7,6018				
0,91875	7,7447				
0,925	7,8467				
0,93125	7,9071				

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,66875	5,6142				
0,675	5,643				
0,68125	5,6689				
0,6875	5,7154				
0,69375	5,7647				
0,7	5,8773				
0,70625	6,0036				
0,7125	6,0623				
0,71875	6,2093				
0,725	6,3876				
0,73125	6,5478				
0,7375	6,6096				
0,74375	6,729				
0,75	6,8479				
0,75625	6,8937				
0,7625	6,9396				
0,76875	6,9818				
0,775	7,0092				
0,78125	7,0336				
0,7875	7,0646				
0,79375	7,1671				
0,8	7,2262				
0,80625	7,3536				
0,8125	7,4766				
0,81875	7,556				
0,825	7,732				
0,83125	7,9032				
0,8375	8,0332				
0,84375	8,1028				
0,85	8,2267				
0,85625	8,3115				
0,8625	8,3335				
0,86875	8,3751				
0,875	8,4308				
0,88125	8,4395				
0,8875	8,4564				
0,89375	8,5558				
0,9	8,6728				
0,90625	8,7389				
0,9125	8,8628				
0,91875	9,0214				
0,925	9,1109				
0,93125	9,309				

x (mm)	Vazio	4kg	3kg	2kg	1kg
0,9375	8,0127				
0,94375	8,0699				
0,95	8,0995				
0,95625	8,1193				
0,9625	8,1555				
0,96875	8,1526				
0,975	8,1873				
0,98125	8,2849				
0,9875	8,3991				
0,99375	8,5025				
1	8,5618				
1,00625	8,7144				
1,0125	8,8813				
1,01875	8,9562				
1,025	9,0707				
1,03125	9,197				
1,0375	9,251				
1,04375	9,3109				
1,05	9,3433				
1,05625	9,3983				
1,0625	9,4302				
1,06875	9,4551				
1,075	9,5371				
1,08125	9,5838				
1,0875	9,6811				
1,09375	9,7922				
1,1	9,9335				
1,10625	10,0203				

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,9375	9,4804				
0,94375	9,6502				
0,95	9,7257				
0,95625	9,8327				
0,9625	9,8805				
0,96875	9,902				
0,975	9,9625				
0,98125	9,9717				
0,9875	9,9828				
0,99375	10,1026				
1	10,2509				
1,00625	10,4059				

20mm - 2º ensaio

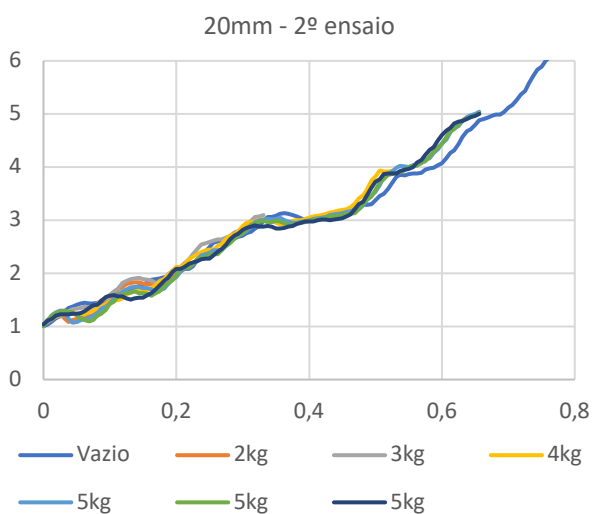


Figura 80 - Gráfico força - deslocamento - 20mm_2º ensaio

20mm - 3º ensaio

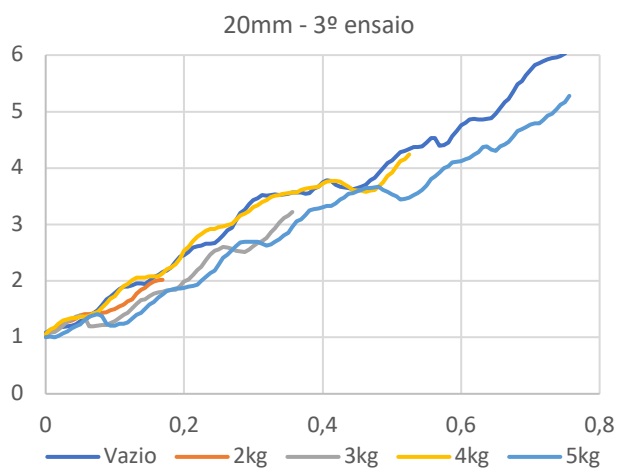


Figura 81 - Gráfico força - deslocamento - 20mm_3º ensaio

		2º ensaio					
		Força Máxima/ F(kg)					
		NC	NC	D	S	S	S
x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg	5kg	5kg
0	1,0031	1,0332	1,0417	1,0139	1,0432	1,0048	1,0371
0,00625	1,0357	1,1239	1,0727	1,1046	1,0991	1,1157	1,1051
0,0125	1,0992	1,1647	1,1454	1,1282	1,2101	1,2033	1,1407
0,01875	1,1589	1,2298	1,1815	1,1867	1,2696	1,2517	1,2022
0,025	1,1952	1,2466	1,1963	1,2331	1,2997	1,2734	1,2272
0,03125	1,2775	1,157	1,2225	1,2336	1,2874	1,2971	1,2258
0,0375	1,3541	1,0871	1,2889	1,2311	1,1383	1,2821	1,2322
0,04375	1,3763	1,1143	1,3261	1,236	1,0738	1,2645	1,2416
0,05	1,4051	1,1407	1,3322	1,2342	1,0863	1,2029	1,2384
0,05625	1,4367	1,1556	1,3477	1,2228	1,1194	1,1593	1,253
0,0625	1,4434	1,188	1,372	1,2334	1,1326	1,1142	1,2924
0,06875	1,4363	1,1917	1,3665	1,2735	1,1622	1,0923	1,3494
0,075	1,438	1,2166	1,3781	1,296	1,1908	1,1166	1,3929
0,08125	1,4461	1,2822	1,4294	1,3372	1,2572	1,2032	1,4141
0,0875	1,4378	1,3654	1,497	1,3685	1,3336	1,2451	1,4762
0,09375	1,4395	1,439	1,5325	1,4249	1,3682	1,3118	1,5511
0,1	1,4754	1,475	1,5868	1,4644	1,4375	1,4157	1,5811
0,10625	1,5287	1,5772	1,6608	1,5128	1,5335	1,4734	1,5849

		3º ensaio				
		Força Máxima/ F(kg)				
		NC	D	D	S	
x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg	
0	1,0801	1,028	1,0291	1,0564	1,0035	
0,00625	1,1278	1,0939	1,0787	1,1422	1,0097	
0,0125	1,1468	1,1429	1,0983	1,1769	1,0009	
0,01875	1,1719	1,1682	1,1422	1,236	1,0297	
0,025	1,1878	1,2301	1,2127	1,3021	1,0757	
0,03125	1,1984	1,2787	1,2868	1,3252	1,1027	
0,0375	1,2066	1,2941	1,3226	1,338	1,1569	
0,04375	1,2323	1,3357	1,368	1,3475	1,1938	
0,05	1,2853	1,3923	1,3864	1,3663	1,2275	
0,05625	1,3138	1,4146	1,3546	1,3638	1,3079	
0,0625	1,3692	1,4138	1,1924	1,3744	1,3629	
0,06875	1,4281	1,417	1,1968	1,4207	1,3894	
0,075	1,4739	1,4399	1,2031	1,4499	1,4122	
0,08125	1,5736	1,4362	1,2192	1,5217	1,3767	
0,0875	1,6754	1,4458	1,2192	1,6024	1,2465	
0,09375	1,7162	1,4765	1,255	1,6876	1,2047	
0,1	1,7846	1,4975	1,2811	1,7334	1,2112	
0,10625	1,8521	1,5444	1,3419	1,8335	1,2382	

x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg	5kg	5kg	x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg
0,1125	1,5549	1,7	1,7118	1,4976	1,5849	1,5731	1,5712	0,1125	1,8971	1,5847	1,4044	1,9101	1,2357
0,11875	1,5954	1,7484	1,8155	1,527	1,6678	1,6042	1,5644	0,11875	1,9018	1,6392	1,4346	1,9411	1,2669
0,125	1,6591	1,7958	1,8561	1,5981	1,6961	1,6264	1,53	0,125	1,9192	1,6762	1,5088	2,0087	1,3292
0,13125	1,6947	1,8189	1,8876	1,6361	1,7319	1,6404	1,5066	0,13125	1,955	1,7694	1,5956	2,0538	1,4032
0,1375	1,7387	1,8356	1,9045	1,6584	1,7485	1,6572	1,5267	0,1375	1,9539	1,8374	1,659	2,0617	1,4388
0,14375	1,7572	1,8346	1,918	1,6718	1,7471	1,6308	1,537	0,14375	1,9421	1,8741	1,6771	2,0629	1,5045
0,15	1,7823	1,8102	1,8911	1,685	1,7272	1,6238	1,5364	0,15	1,9984	1,947	1,7332	2,0771	1,5845
0,15625	1,8367	1,7918	1,8791	1,6896	1,7229	1,6105	1,5891	0,15625	2,0677	1,993	1,7761	2,0792	1,626
0,1625	1,8791	1,7886	1,8628	1,7178	1,7027	1,5765	1,6254	0,1625	2,1035	2,0093	1,7937	2,0838	1,7105
0,16875	1,8931	1,7453	1,8192	1,7837	1,6653	1,6307	1,7019	0,16875	2,1611	2,019	1,8103	2,1348	1,7611
0,175	1,9035	1,7409	1,8245	1,8576	1,6829	1,6675	1,7742	0,175	2,1874		1,8335	2,2007	1,8158
0,18125	1,9254	1,776	1,8909	1,8916	1,7125	1,7462	1,8581	0,18125	2,2348		1,843	2,2348	1,8399
0,1875	1,9209	1,8123	1,9717	1,9602	1,7934	1,8243	1,9136	0,1875	2,3449		1,8425	2,3005	1,8643
0,19375	1,9346	1,8975	2,0447	2,052	1,8749	1,8637	2,0257	0,19375	2,4311		1,9075	2,3988	1,8672
0,2	1,9813	1,9854	2,073	2,1192	1,9222	1,9673	2,0876	0,2	2,4594		1,9856	2,5334	1,8747
0,20625	2,0379	2,0385	2,1146	2,1255	2,0352	2,0796	2,0898	0,20625	2,5141		2,0257	2,6006	1,9021
0,2125	2,0822	2,109	2,1935	2,1696	2,1117	2,1099	2,1234	0,2125	2,5882		2,1024	2,7041	1,9072
0,21875	2,0824	2,1479	2,2622	2,2667	2,1223	2,1064	2,1844	0,21875	2,6096		2,1924	2,7839	1,9278
0,225	2,1348	2,1875	2,3576	2,3084	2,1651	2,1837	2,2061	0,225	2,6236		2,247	2,8267	1,9998
0,23125	2,2571		2,4518	2,3597	2,2671	2,2665	2,2307	0,23125	2,6532		2,3657	2,8867	2,0693
0,2375	2,3202		2,5379	2,3917	2,3384	2,2889	2,2618	0,2375	2,658		2,4677	2,9153	2,1391
0,24375	2,4145		2,5666	2,4349	2,3558	2,3166	2,2795	0,24375	2,666		2,5293	2,924	2,1778
0,25	2,4974		2,5905	2,4484	2,3899	2,3528	2,2767	0,25	2,73		2,5596	2,9532	2,2863
0,25625	2,5754		2,6194	2,4502	2,43	2,3668	2,3316	0,25625	2,8087		2,606	2,9654	2,4043
0,2625	2,5998		2,6381	2,5125	2,4356	2,364	2,4133	0,2625	2,8997		2,5923	2,9853	2,462
0,26875	2,618		2,6339	2,5547	2,4458	2,4313	2,4554	0,26875	2,9456		2,5732	3,015	2,5469
0,275	2,6479		2,6727	2,6464	2,5204	2,5214	2,541	0,275	3,0654		2,5391	3,0758	2,6176
0,28125	2,6649		2,7045	2,7049	2,6038	2,5694	2,633	0,28125	3,1978		2,5262	3,1524	2,6777
0,2875	2,6602		2,7719	2,7327	2,6479	2,6527	2,7103	0,2875	3,2616		2,5163	3,1916	2,6892
0,29375	2,6845		2,798	2,7914	2,7006	2,7183	2,7412	0,29375	3,3613		2,5566	3,2371	2,6896
0,3	2,7125		2,8284	2,8884	2,7565	2,7497	2,8165	0,3	3,4319		2,6086	3,3047	2,69
0,30625	2,7607		2,8782	2,9538	2,7927	2,8334	2,8607	0,30625	3,4686		2,6732	3,3432	2,6913
0,3125	2,7878		2,9845	2,9612	2,8931	2,9143	2,8853	0,3125	3,5168		2,7	3,3925	2,6607
0,31875	2,8487		3,066	2,9792	2,9607	2,9321	2,9046	0,31875	3,5127		2,7568	3,4286	2,6294
0,325	2,895		3,0777	3,008	2,9997	2,9715	2,8854	0,325	3,5189		2,8661	3,4829	2,6431
0,33125	2,9917		3,0971	3,0145	3,0143	2,9886	2,8842	0,33125	3,5316		2,93	3,5053	2,6887
0,3375	3,0576			3,008	3,0248	2,9657	2,89	0,3375	3,5259		3,037	3,5257	2,7361
0,34375	3,0628			2,9948	3,0158	2,9617	2,8822	0,34375	3,5347		3,1129	3,539	2,8008
0,35	3,0847			2,9546	3,0274	2,9826	2,848	0,35	3,5489		3,153	3,5515	2,8483
0,35625	3,1235			2,9265	3,0435	2,9758	2,8466	0,35625	3,5607		3,221	3,5639	2,9544
0,3625	3,1326			2,9327	3,0024	2,9448	2,8518	0,3625	3,5664			3,5698	3,0514

x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg	5kg	5kg	x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg
0,36875	3,1239			2,9692	2,9776	2,9185	2,876	0,36875	3,5648			3,6166	3,0856
0,375	3,102			2,9866	2,9527	2,9115	2,8964	0,375	3,5385			3,6317	3,1746
0,38125	3,0752			2,9949	2,9516	2,9376	2,9309	0,38125	3,5536			3,6478	3,2478
0,3875	3,0419			3,0035	2,9804	2,9553	2,9526	0,3875	3,629			3,6554	3,2696
0,39375	3,0099			3,019	2,979	2,9644	2,9753	0,39375	3,6702			3,6717	3,2827
0,4	3,0264			3,0529	2,9952	2,9937	2,9799	0,4	3,7441			3,7238	3,3084
0,40625	3,0303			3,0674	3,0199	3,0071	2,9762	0,40625	3,7809			3,761	3,3294
0,4125	3,0256			3,0784	3,0314	3,0239	3,0007	0,4125	3,773			3,7709	3,3238
0,41875	3,0311			3,0914	3,043	3,0239	3,0127	0,41875	3,7011			3,7705	3,3689
0,425	3,0501			3,1181	3,0627	3,0392	3,0107	0,425	3,6654			3,7602	3,4429
0,43125	3,0577			3,1413	3,102	3,0725	2,997	0,43125	3,6569			3,7142	3,4786
0,4375	3,0838			3,151	3,1107	3,0707	3,0178	0,4375	3,6413			3,6732	3,5404
0,44375	3,1093			3,1748	3,1164	3,0799	3,0293	0,44375	3,6199			3,6072	3,552
0,45	3,1272			3,1902	3,1363	3,0945	3,0302	0,45	3,6473			3,6015	3,5904
0,45625	3,1772			3,205	3,1535	3,1236	3,0774	0,45625	3,664			3,5959	3,6138
0,4625	3,2337			3,2358	3,164	3,1159	3,1105	0,4625	3,7063			3,5788	3,6457
0,46875	3,259			3,3165	3,1757	3,1349	3,1994	0,46875	3,777			3,6002	3,6415
0,475	3,2703			3,4156	3,2029	3,2055	3,2956	0,475	3,8214			3,6125	3,6534
0,48125	3,2947			3,465	3,2825	3,2989	3,3461	0,48125	3,9038			3,6663	3,663
0,4875	3,2875			3,5825	3,381	3,3899	3,4757	0,4875	3,9983			3,751	3,6148
0,49375	3,3026			3,7415	3,4719	3,4408	3,6156	0,49375	4,0836			3,8648	3,5802
0,5	3,3744			3,8179	3,5277	3,5696	3,7258	0,5	4,1309			3,9233	3,5306
0,50625	3,4594			3,9359	3,6662	3,713	3,7674	0,50625	4,2167			4,0343	3,4941
0,5125	3,4991			3,9124	3,8097	3,7774	3,8621	0,5125	4,2841			4,1251	3,4466
0,51875	3,5869			3,9141	3,858	3,8588	3,8844	0,51875	4,3055			4,1589	3,4505
0,525	3,6983			3,9253	3,9101	3,867	3,8801	0,525	4,3329			4,2399	3,4741
0,53125	3,8193				3,9913	3,8875	3,8821	0,53125	4,3736				3,5216
0,5375	3,853				4,023	3,9035	3,9235	0,5375	4,3685				3,5515
0,54375	3,8494				4,017	3,9446	3,954	0,54375	4,383				3,6098
0,55	3,8639				4,0059	4,0014	3,9585	0,55	4,4497				3,6913
0,55625	3,8784				4,0411	4,0196	4,0044	0,55625	4,5307				3,8
0,5625	3,8836				4,0536	4,0244	4,0831	0,5625	4,5333				3,8479
0,56875	3,8952				4,076	4,0803	4,1329	0,56875	4,3982				3,9181
0,575	3,9486				4,1328	4,113	4,2257	0,575	4,4031				4,0007
0,58125	3,9733				4,1726	4,201	4,3214	0,58125	4,4534				4,0366
0,5875	3,9853				4,2668	4,2874	4,3797	0,5875	4,565				4,0945
0,59375	4,0331				4,3354	4,3718	4,5035	0,59375	4,6576				4,1114
0,6	4,0752				4,4458	4,4313	4,6047	0,6	4,7575				4,123
0,60625	4,1744				4,5132	4,5625	4,6885	0,60625	4,7989				4,1588
0,6125	4,2694				4,6478	4,6733	4,7378	0,6125	4,8639				4,1753
0,61875	4,3167				4,7393	4,708	4,8177	0,61875	4,8736				4,2352
0,625	4,4339				4,7774	4,7906	4,8568	0,625	4,8619				4,2758
0,63125	4,5694				4,8736	4,8753	4,8677	0,63125	4,8597				4,3758

x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg	5kg	5kg	x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg
0,6375	4,6791				4,9448	4,9207	4,9058	0,6375	4,8705				4,3875
0,64375	4,7142				4,9798	4,9376	4,9411	0,64375	4,8816				4,3306
0,65	4,7968				4,9965	4,9796	4,964	0,65	4,9658				4,3083
0,65625	4,8763				5,0429	5,016	5,0014	0,65625	5,0639				4,3771
0,6625	4,904							0,6625	5,1708				4,4157
0,66875	4,9296							0,66875	5,2196				4,4596
0,675	4,9597							0,675	5,3436				4,5565
0,68125	4,9925							0,68125	5,4817				4,6534
0,6875	4,992							0,6875	5,5434				4,6838
0,69375	5,0357							0,69375	5,6456				4,7267
0,7	5,1179							0,7	5,7309				4,7678
0,70625	5,1644							0,70625	5,8204				4,7867
0,7125	5,2653							0,7125	5,8536				4,7918
0,71875	5,368							0,71875	5,8877				4,8494
0,725	5,4326							0,725	5,9202				4,9215
0,73125	5,5787							0,73125	5,9438				4,9602
0,7375	5,7241							0,7375	5,963				5,0418
0,74375	5,8336							0,74375	5,982				5,1202
0,75	5,8941							0,75	6,0253				5,166
0,75625	6,0052							0,75625	6,1141				5,2776
0,7625	6,0783							0,7625	6,2171				
0,76875	6,0953							0,76875	6,3144				
0,775	6,1382							0,775	6,3777				
0,78125	6,1879							0,78125	6,529				
0,7875	6,2055							0,7875	6,6753				
0,79375	6,2395							0,79375	6,7369				
0,8	6,3377							0,8	6,8531				
0,80625	6,4556							0,80625	6,9719				
0,8125	6,5167							0,8125	7,0514				
0,81875	6,6347							0,81875	7,0686				
0,825	6,7964							0,825	7,11				
0,83125	6,9687							0,83125	7,1647				
0,8375	7,0502							0,8375	7,1709				
0,84375	7,1718							0,84375	7,1904				
0,85	7,2993							0,85	7,2794				
0,85625	7,359							0,85625	7,3339				
0,8625	7,4422							0,8625	7,4467				
0,86875	7,4783							0,86875	7,5476				
0,875	7,4993							0,875	7,6897				
0,88125	7,5529							0,88125	7,7688				
0,8875	7,5573							0,8875	7,9201				

x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg	5kg	5kg
0,89375	7,6256						
0,9	7,6761						
0,90625	7,7924						
0,9125	7,9152						
0,91875	7,9764						
0,925	8,1293						
0,93125	8,3023						
0,9375	8,4588						
0,94375	8,5163						
0,95	8,6422						
0,95625	8,7519						
0,9625	8,7884						
0,96875	8,8256						
0,975	8,8662						
0,98125	8,8909						
0,9875	8,895						
0,99375	8,9519						
1	9,0556						
1,00625	9,1148						
1,0125	9,2344						
1,01875	9,3584						
1,025	9,4335						
1,03125	9,6138						
1,0375	9,7834						
1,04375	9,9052						
1,05	9,9761						
1,05625	10,0982						
1,0625	10,1692						

x (mm)	Vazio	2kg	3kg	4kg	5kg
0,89375	8,0318				
0,9	8,0849				
0,90625	8,1983				
0,9125	8,2741				
0,91875	8,2901				
0,925	8,3293				
0,93125	8,3809				
0,9375	8,3843				
0,94375	8,4025				
0,95	8,4919				
0,95625	8,6007				
0,9625	8,6639				
0,96875	8,77				
0,975	8,9083				
0,98125	9,0693				
0,9875	9,1454				
0,99375	9,268				
1	9,3802				
1,00625	9,4354				
1,0125	9,5164				
1,01875	9,5448				
1,025	9,5615				
1,03125	9,61				
1,0375	9,6215				
1,04375	9,6681				
1,05	9,7179				
1,05625	9,8262				
1,0625	9,9447				
1,06875	9,9951				
1,075	10,126				
1,08125	10,2932				

30mm - 1º ensaio

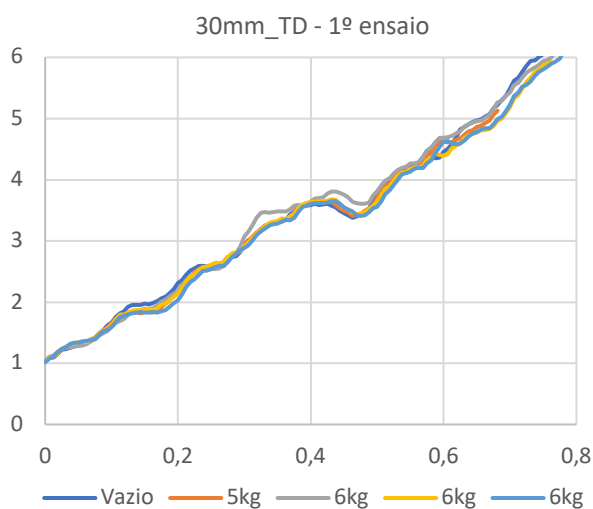


Figura 82 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_1º ensaio

30mm - 2º ensaio

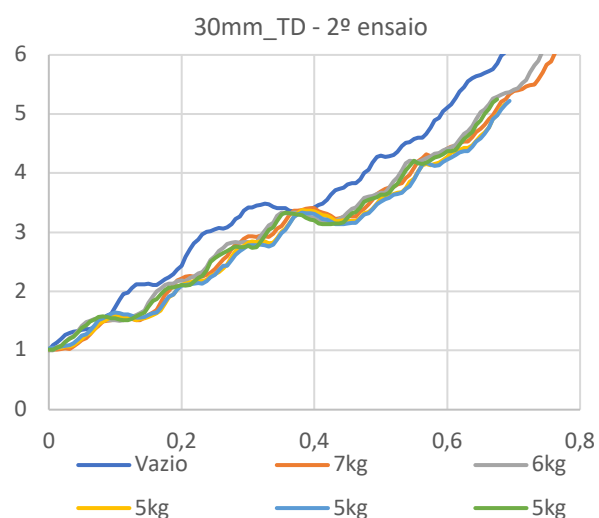


Figura 83 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_2º ensaio

		1º ensaio			
		Força Máxima/ F(kg)			
		D	S	S	S
x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg
0	1,0451	1,0421	1,0248	1,0283	1,0165
0,00625	1,0831	1,0758	1,1018	1,0923	1,0772
0,0125	1,0994	1,1324	1,1288	1,1151	1,1129
0,01875	1,1511	1,1785	1,1833	1,1606	1,1842
0,025	1,2186	1,2447	1,2305	1,234	1,2325
0,03125	1,2361	1,2652	1,2502	1,2672	1,2681
0,0375	1,2544	1,2803	1,2607	1,3166	1,3172
0,04375	1,2728	1,2976	1,2738	1,325	1,3385
0,05	1,2974	1,3103	1,2839	1,3429	1,3398
0,05625	1,2954	1,3184	1,2909	1,3545	1,3584
0,0625	1,3216	1,3293	1,3134	1,3473	1,3701
0,06875	1,3838	1,3538	1,3712	1,3905	1,3773
0,075	1,4194	1,4184	1,3942	1,4198	1,4035
0,08125	1,4816	1,4822	1,4507	1,471	1,46
0,0875	1,5435	1,5447	1,4916	1,5358	1,5233
0,09375	1,623	1,5837	1,5233	1,5686	1,5474
0,1	1,6687	1,6634	1,5958	1,6344	1,598
0,10625	1,7597	1,7365	1,6583	1,7176	1,6697
0,1125	1,8227	1,7546	1,6923	1,7922	1,7501

		2º ensaio				
		Força Máxima/ F(kg)				
		S	S	D	D	D
x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0	1,0051	1,0065	1,0038	1,0188	1,033	1,0194
0,00625	1,0926	1,0168	1,0034	1,0417	1,0481	1,0134
0,0125	1,1364	1,0141	1,0542	1,0439	1,0513	1,0486
0,01875	1,2032	1,027	1,0834	1,0519	1,0699	1,0779
0,025	1,2663	1,0378	1,1464	1,0673	1,081	1,1419
0,03125	1,2919	1,0306	1,2085	1,0682	1,0936	1,2002
0,0375	1,3158	1,0708	1,2424	1,0917	1,1188	1,2284
0,04375	1,3334	1,1229	1,3261	1,1403	1,1843	1,3043
0,05	1,3549	1,1831	1,4118	1,2003	1,2494	1,3866
0,05625	1,3604	1,2085	1,4857	1,2622	1,2786	1,4302
0,0625	1,3589	1,2788	1,5039	1,2883	1,3378	1,4889
0,06875	1,4083	1,3664	1,5368	1,3601	1,4291	1,5283
0,075	1,4397	1,4165	1,5399	1,4467	1,5143	1,569
0,08125	1,5207	1,49	1,5319	1,4872	1,5429	1,577
0,0875	1,5901	1,5013	1,5095	1,5273	1,5776	1,5635
0,09375	1,6204	1,5152	1,5093	1,5712	1,6238	1,5434
0,1	1,732	1,5454	1,514	1,5854	1,6392	1,5431
0,10625	1,8615	1,5506	1,4972	1,5943	1,6357	1,5266
0,1125	1,9526	1,5415	1,5124	1,5635	1,6142	1,5127

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg
0,11875	1,8541	1,786	1,7234	1,7976	1,7804
0,125	1,9217	1,8183	1,7913	1,8262	1,7994
0,13125	1,9557	1,8299	1,8387	1,8616	1,82
0,1375	1,9541	1,8234	1,8496	1,8723	1,8311
0,14375	1,9593	1,8164	1,8657	1,8718	1,8394
0,15	1,9725	1,8353	1,8929	1,8764	1,8297
0,15625	1,9648	1,8351	1,8941	1,8941	1,8315
0,1625	1,9803	1,8308	1,8985	1,8823	1,8428
0,16875	2,0147	1,8796	1,9419	1,9042	1,8236
0,175	2,0606	1,9102	2,005	1,9493	1,849
0,18125	2,094	1,971	2,0421	1,9739	1,8675
0,1875	2,1386	2,0291	2,0874	2,0324	1,92
0,19375	2,2143	2,1231	2,1429	2,0929	1,9872
0,2	2,3122	2,1781	2,1838	2,1376	2,0265
0,20625	2,3591	2,2737	2,275	2,2372	2,1365
0,2125	2,443	2,3616	2,3417	2,339	2,2466
0,21875	2,5149	2,4027	2,4248	2,4129	2,3346
0,225	2,5514	2,4889	2,4659	2,4513	2,3677
0,23125	2,5958	2,5435	2,52	2,5258	2,4456
0,2375	2,5885	2,5513	2,5179	2,5731	2,5056
0,24375	2,5851	2,5542	2,5208	2,5812	2,5212
0,25	2,5881	2,5803	2,5409	2,6095	2,5441
0,25625	2,574	2,589	2,5418	2,6463	2,5766
0,2625	2,6142	2,5959	2,5458	2,6389	2,5961
0,26875	2,6494	2,6616	2,594	2,6602	2,5916
0,275	2,7152	2,7432	2,6603	2,7292	2,6544
0,28125	2,739	2,7753	2,756	2,8015	2,7384
0,2875	2,7514	2,7941	2,8	2,8175	2,7869
0,29375	2,8267	2,8546	2,917	2,8378	2,8538
0,3	2,9294	2,952	3,0722	2,9167	2,8869
0,30625	3,014	2,9972	3,1449	2,9653	2,9274
0,3125	3,0393	3,0689	3,2673	3,0561	3,0132
0,31875	3,1142	3,1361	3,3753	3,1113	3,0942
0,325	3,2031	3,1778	3,4573	3,194	3,161
0,33125	3,2358	3,2482	3,4769	3,2348	3,1974
0,3375	3,2664	3,2766	3,4625	3,2904	3,252
0,34375	3,291	3,2989	3,4672	3,3121	3,278
0,35	3,3108	3,3181	3,4814	3,3279	3,2861
0,35625	3,3173	3,3332	3,4808	3,3646	3,3198
0,3625	3,3455	3,3497	3,4859	3,356	3,3429
0,36875	3,4295	3,3854	3,5154	3,394	3,3352
0,375	3,4775	3,4767	3,5743	3,4363	3,3775
0,38125	3,5561	3,5633	3,5819	3,5303	3,4668

x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,11875	1,981	1,5397	1,5475	1,5445	1,6057	1,5167
0,125	2,0594	1,5344	1,5655	1,5417	1,5884	1,5316
0,13125	2,1164	1,5102	1,6018	1,5158	1,5616	1,5807
0,1375	2,1234	1,518	1,6275	1,5314	1,561	1,6126
0,14375	2,1193	1,5532	1,6764	1,5482	1,5704	1,6439
0,15	2,126	1,595	1,8045	1,5661	1,6018	1,7379
0,15625	2,1138	1,6437	1,9179	1,6002	1,633	1,8352
0,1625	2,1104	1,683	1,9963	1,6307	1,6439	1,8695
0,16875	2,1474	1,8098	2,0409	1,6792	1,7231	1,9448
0,175	2,2067	1,9491	2,1067	1,7972	1,8256	2,0208
0,18125	2,2419	2,0116	2,1269	1,9084	1,9103	2,0655
0,1875	2,2934	2,0958	2,1351	1,946	1,944	2,0677
0,19375	2,3637	2,1806	2,1697	2,0337	2,0305	2,0835
0,2	2,4347	2,2152	2,1808	2,1087	2,0933	2,1041
0,20625	2,5819	2,2513	2,1746	2,1325	2,1044	2,0964
0,2125	2,7139	2,2556	2,229	2,1511	2,1146	2,1076
0,21875	2,8183	2,2501	2,2523	2,1716	2,1341	2,1624
0,225	2,8749	2,2598	2,3033	2,1889	2,1393	2,2261
0,23125	2,9671	2,2495	2,327	2,1779	2,1291	2,2649
0,2375	3,0037	2,2859	2,4112	2,1989	2,1793	2,3582
0,24375	3,0154	2,3121	2,5344	2,2606	2,2437	2,501
0,25	3,0504	2,3779	2,591	2,2926	2,2802	2,5591
0,25625	3,0698	2,4536	2,6837	2,3271	2,3547	2,6059
0,2625	3,0632	2,5393	2,7408	2,3921	2,432	2,6536
0,26875	3,0808	2,5985	2,8012	2,4548	2,4366	2,6789
0,275	3,1356	2,7124	2,8231	2,5889	2,5336	2,7305
0,28125	3,2264	2,7931	2,8311	2,6827	2,6178	2,754
0,2875	3,2722	2,8188	2,8259	2,7396	2,6876	2,7491
0,29375	3,3665	2,8917	2,8325	2,7714	2,7273	2,753
0,3	3,4159	2,9317	2,8386	2,828	2,7771	2,7672
0,30625	3,419	2,935	2,8138	2,8419	2,7774	2,7425
0,3125	3,4564	2,926	2,8355	2,8363	2,7767	2,7518
0,31875	3,468	2,9377	2,9279	2,8407	2,7896	2,8361
0,325	3,4795	2,9332	3,0324	2,8505	2,778	2,941
0,33125	3,4717	2,9214	3,1178	2,8175	2,7608	3,0388
0,3375	3,4295	2,9703	3,1616	2,8279	2,7947	3,0798
0,34375	3,4079	3,0631	3,276	2,9039	2,8827	3,1904
0,35	3,4115	3,1076	3,3273	3,0089	2,9902	3,2957
0,35625	3,4065	3,192	3,3248	3,0594	3,0371	3,329
0,3625	3,3605	3,2845	3,3186	3,1483	3,1394	3,3244
0,36875	3,3575	3,3647	3,3288	3,2621	3,2568	3,3071
0,375	3,3499	3,3654	3,3335	3,317	3,2997	3,3038
0,38125	3,347	3,3806	3,3133	3,3736	3,3329	3,286

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg
0,3875	3,5803	3,5858	3,566	3,5992	3,5507
0,39375	3,5727	3,6159	3,581	3,6178	3,5758
0,4	3,5838	3,6326	3,6496	3,6404	3,608
0,40625	3,6088	3,6393	3,6956	3,6399	3,6219
0,4125	3,5914	3,6345	3,6985	3,6471	3,6174
0,41875	3,5984	3,6344	3,7129	3,6371	3,6231
0,425	3,604	3,6451	3,7798	3,6608	3,6264
0,43125	3,5768	3,636	3,8095	3,6816	3,646
0,4375	3,543	3,587	3,8034	3,6706	3,6488
0,44375	3,491	3,5358	3,7886	3,6079	3,6065
0,45	3,4513	3,4971	3,7523	3,541	3,5422
0,45625	3,4155	3,4684	3,7132	3,518	3,5177
0,4625	3,381	3,4128	3,6435	3,459	3,482
0,46875	3,3993	3,4204	3,6178	3,4369	3,4185
0,475	3,4417	3,4394	3,6092	3,4516	3,4113
0,48125	3,4698	3,4944	3,6058	3,4736	3,4232
0,4875	3,5383	3,5335	3,6328	3,5269	3,4746
0,49375	3,6621	3,5749	3,7407	3,5791	3,5304
0,5	3,7344	3,7048	3,8048	3,6354	3,5506
0,50625	3,8379	3,8115	3,9132	3,7547	3,6505
0,5125	3,9108	3,8973	3,9839	3,8535	3,7694
0,51875	4,0136	3,9399	4,0261	3,8927	3,8226
0,525	4,0657	4,0333	4,1031	3,9827	3,9106
0,53125	4,1449	4,1028	4,1666	4,0666	4,0101
0,5375	4,1792	4,1181	4,191	4,1164	4,0864
0,54375	4,1981	4,1465	4,2116	4,1289	4,1069
0,55	4,2432	4,1839	4,2625	4,1702	4,1356
0,55625	4,2559	4,1832	4,2677	4,2044	4,1801
0,5625	4,2766	4,2016	4,285	4,1982	4,1947
0,56875	4,3666	4,2863	4,372	4,2363	4,1936
0,575	4,4691	4,3942	4,4779	4,3161	4,2667
0,58125	4,4104	4,4525	4,5289	4,3607	4,3156
0,5875	4,3512	4,5525	4,6081	4,4382	4,4359
0,59375	4,3619	4,6337	4,6862	4,3983	4,5342
0,6	4,4591	4,6263	4,6904	4,3922	4,626
0,60625	4,5096	4,6118	4,6936	4,4267	4,6345
0,6125	4,5794	4,6125	4,7165	4,5134	4,5892
0,61875	4,6992	4,6551	4,7582	4,5597	4,582
0,625	4,8167	4,6778	4,788	4,5963	4,5947
0,63125	4,8587	4,7422	4,8696	4,6815	4,6396
0,6375	4,9036	4,7911	4,902	4,7291	4,7037

x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,3875	3,3667	3,3979	3,2766	3,366	3,3211	3,2445
0,39375	3,387	3,4094	3,2613	3,3628	3,3185	3,217
0,4	3,4164	3,4087	3,2466	3,3551	3,3072	3,2061
0,40625	3,4617	3,358	3,1908	3,3265	3,2627	3,1536
0,4125	3,4877	3,3286	3,1866	3,2896	3,2289	3,1355
0,41875	3,5465	3,3068	3,1893	3,2779	3,2165	3,1407
0,425	3,6402	3,2793	3,1923	3,2511	3,182	3,1396
0,43125	3,7109	3,227	3,194	3,1949	3,1354	3,1486
0,4375	3,7307	3,2324	3,2291	3,1939	3,1357	3,1456
0,44375	3,7511	3,2602	3,2692	3,1976	3,1426	3,1693
0,45	3,805	3,2751	3,3336	3,1942	3,1478	3,248
0,45625	3,8267	3,2709	3,3974	3,1971	3,1552	3,3217
0,4625	3,8321	3,2701	3,4232	3,1954	3,162	3,3484
0,46875	3,8974	3,3523	3,5093	3,2479	3,231	3,4171
0,475	4,0025	3,3969	3,5857	3,3266	3,2986	3,5151
0,48125	4,0623	3,4726	3,6066	3,3469	3,3246	3,5456
0,4875	4,1766	3,5516	3,6118	3,3979	3,3831	3,5663
0,49375	4,2707	3,6466	3,6466	3,4871	3,4713	3,5931
0,5	4,2945	3,6854	3,6701	3,5701	3,5128	3,636
0,50625	4,2776	3,7294	3,6727	3,5967	3,5575	3,6339
0,5125	4,2886	3,7497	3,7511	3,6171	3,5861	3,6696
0,51875	4,3084	3,771	3,8656	3,6472	3,6354	3,7664
0,525	4,3653	3,8127	3,9238	3,6709	3,651	3,8234
0,53125	4,4562	3,8285	4,0434	3,6846	3,664	3,9393
0,5375	4,5126	3,9183	4,1664	3,748	3,7319	4,0482
0,54375	4,5281	3,9759	4,2095	3,8526	3,781	4,1234
0,55	4,5728	4,0946	4,1939	3,9093	3,8967	4,2047
0,55625	4,6031	4,2005	4,1931	4,0217	4,0096	4,1674
0,5625	4,6	4,2584	4,2235	4,1347	4,1428	4,1545
0,56875	4,6671	4,3136	4,249	4,1595	4,1742	4,1743
0,575	4,7744	4,2877	4,2906	4,132	4,1432	4,2247
0,58125	4,8946	4,2936	4,3325	4,156	4,124	4,2639
0,5875	4,9359	4,3087	4,3411	4,1725	4,1355	4,2859
0,59375	5,0456	4,3568	4,3816	4,2202	4,1879	4,3224
0,6	5,1119	4,4199	4,4147	4,28	4,2317	4,3713
0,60625	5,1627	4,4482	4,4347	4,3457	4,2644	4,3697
0,6125	5,27	4,464	4,4787	4,3571	4,308	4,3936
0,61875	5,3798	4,5111	4,5708	4,3902	4,3547	4,4789
0,625	5,4515	4,534	4,6608	4,4289	4,3694	4,5826
0,63125	5,5554	4,5294	4,7039	4,4214	4,372	4,6299
0,6375	5,6025	4,6067	4,7922	4,4649	4,4441	4,6984

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg
0,64375	4,9447	4,8116	4,9395	4,7505	4,7579
0,65	4,9698	4,8611	4,9629	4,7679	4,776
0,65625	4,985	4,8881	4,9664	4,8103	4,8187
0,6625	5,0275	4,9276	5,0151	4,8113	4,8471
0,66875	5,0738	4,9721	5,063	4,8302	4,8464
0,675	5,1699	5,0622	5,1545	4,8774	4,9057
0,68125	5,2209	5,1287	5,2566	4,9551	4,9901
0,6875	5,3029		5,2904	5,0015	5,0338
0,69375	5,3638		5,3616	5,0816	5,1193
0,7	5,4937		5,4259	5,1873	5,23
0,70625	5,6208		5,5411	5,3212	5,37
0,7125	5,6652		5,5823	5,3846	5,4282
0,71875	5,7628		5,6693	5,4901	5,5186
0,725	5,8693		5,752	5,6102	5,5545
0,73125	5,939		5,79	5,67	5,6029
0,7375	5,9549		5,8346	5,7623	5,7061
0,74375	6,0032		5,8839	5,8043	5,7638
0,75	6,0617		5,9432	5,8664	5,8097
0,75625	6,0639		5,9485	5,8993	5,8442
0,7625	6,1163		6,0051	5,9236	5,8981
0,76875	6,2283		6,1257		5,9361
0,775	6,2893		6,1944		5,9873
0,78125	6,4278		6,339		6,1116
0,7875	6,5631				6,254
0,79375	6,7325				
0,8	6,826				
0,80625	7,0037				
0,8125	7,1384				
0,81875	7,2119				
0,825	7,3444				
0,83125	7,4381				
0,8375	7,4799				
0,84375	7,5072				
0,85	7,573				
0,85625	7,5821				
0,8625	7,6115				
0,86875	7,7191				
0,875	7,8514				
0,88125	7,9252				
0,8875	8,0559				
0,89375	8,2304				
0,9	8,4222				
0,90625	8,5131				

x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,64375	5,6383	4,7024	4,9135	4,5493	4,5395	4,818
0,65	5,6608	4,7508	5,0279	4,6339	4,5922	4,889
0,65625	5,6902	4,8147	5,0774	4,6854	4,6667	5,0037
0,6625	5,7248	4,9144	5,1623	4,7726	4,7679	5,0874
0,66875	5,7633	4,9778	5,2624	4,9188	4,9157	5,1954
0,675	5,8584	5,0974	5,2939	4,9848	4,9808	5,25
0,68125	5,9876	5,2034	5,3265	5,0947	5,0708	
0,6875	6,0504	5,2474	5,353	5,171	5,1592	
0,69375	6,1948	5,3399	5,3723		5,2224	
0,7	6,3682	5,3873	5,4087			
0,70625	6,541	5,4056	5,4299			
0,7125	6,6134	5,4194	5,5218			
0,71875	6,7334	5,4616	5,5774			
0,725	6,8684	5,4915	5,7089			
0,73125	6,9254	5,4984	5,828			
0,7375	6,9872	5,5815	5,8943			
0,74375	7,0333	5,6999	6,0693			
0,75	7,0966	5,8311	6,253			
0,75625	7,1149	5,8909	6,3926			
0,7625	7,133	6,0325				
0,76875	7,2275	6,2116				
0,775	7,2873	6,3042				
0,78125	7,4208	6,4608				
0,7875	7,5426	6,5769				
0,79375	7,6148	6,6431				
0,8	7,7983	6,7588				
0,80625	7,9849	6,82				
0,8125	8,1297	6,8682				
0,81875	8,195	6,8976				
0,825	8,3396	6,9438				
0,83125	8,4491					
0,8375	8,4797					
0,84375	8,5251					
0,85	8,5851					
0,85625	8,6081					
0,8625	8,6148					
0,86875	8,7067					
0,875	8,8337					
0,88125	8,9049					
0,8875	9,0409					
0,89375	9,1972					
0,9	9,2941					
0,90625	9,4869					

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg
0,9125	8,6551				
0,91875	8,7965				
0,925	8,8616				
0,93125	8,9562				
0,9375	9,0019				
0,94375	9,0617				
0,95	9,0938				
0,95625	9,1037				
0,9625	9,1668				
0,96875	9,2221				
0,975	9,3509				
0,98125	9,4954				
0,9875	9,56				
0,99375	9,7263				
1	9,9175				
1,00625	10,0894				
1,0125	10,1529				
1,01875	10,2904				

x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,9125	9,6425					
0,91875	9,7726					
0,925	9,8426					
0,93125	9,9662					
0,9375	10,0179					
0,94375	10,0391					
0,95	10,0965					

30mm - 3º ensaio

30mm_MD - 1º ensaio

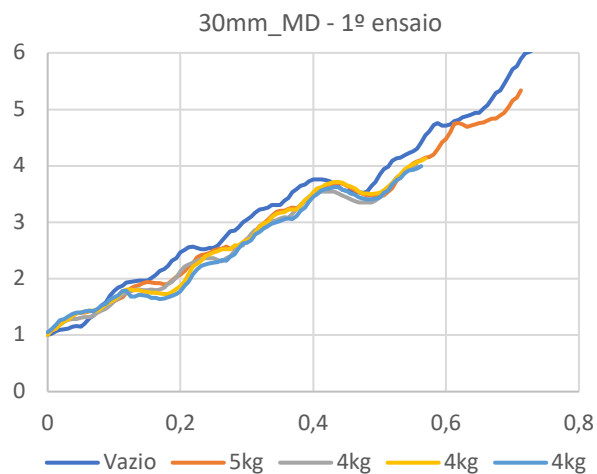
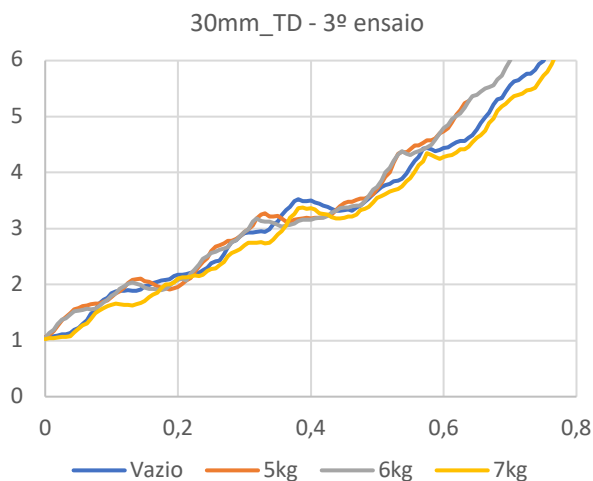


Figura 84 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_3º ensaio

Figura 85 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_MD_1º ensaio

		3º ensaio			
		Força Máxima/ F(kg)			
		NC	S	S	
x (mm)	Vazio	5kg	6kg	7kg	
0	1,0468	1,064	1,0493	1,0272	
0,00625	1,0752	1,0961	1,133	1,0461	
0,0125	1,0785	1,1656	1,1873	1,0457	
0,01875	1,0946	1,2589	1,296	1,0514	
0,025	1,1134	1,3698	1,3723	1,0721	
0,03125	1,1112	1,4203	1,4036	1,0677	
0,0375	1,139	1,4887	1,4692	1,0825	
0,04375	1,193	1,5558	1,5204	1,1425	
0,05	1,2292	1,5813	1,5408	1,2112	
0,05625	1,2931	1,6182	1,5502	1,2757	
0,0625	1,36	1,6298	1,5698	1,304	
0,06875	1,48	1,6462	1,5639	1,3889	
0,075	1,5438	1,6612	1,5672	1,4907	
0,08125	1,66	1,6605	1,6183	1,5329	
0,0875	1,729	1,6904	1,688	1,5822	
0,09375	1,7681	1,713	1,7247	1,6197	
0,1	1,8409	1,7766	1,7943	1,638	
0,10625	1,8801	1,8488	1,849	1,66	
0,1125	1,8851	1,8763	1,9286	1,6492	

		1º ensaio			
		Força Máxima/ F(kg)			
		S	D	D	D
x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0	1,006	1,013	1,0341	1,0041	1,0515
0,0063	1,0297	1,0767	1,0978	1,0794	1,1005
0,0125	1,0685	1,1122	1,1506	1,1217	1,1855
0,0188	1,0937	1,1873	1,1787	1,1847	1,258
0,025	1,1031	1,2532	1,2383	1,2499	1,2874
0,0313	1,1216	1,2782	1,2771	1,2795	1,3348
0,0375	1,1547	1,3409	1,2903	1,3437	1,3802
0,0438	1,1604	1,3867	1,2915	1,3932	1,3952
0,05	1,1548	1,4033	1,3093	1,4033	1,4037
0,0563	1,2116	1,4042	1,3191	1,4073	1,4224
0,0625	1,2983	1,4168	1,3156	1,4282	1,4362
0,0688	1,3429	1,4304	1,3473	1,4315	1,4255
0,075	1,4264	1,4178	1,4045	1,4325	1,4631
0,0813	1,5207	1,4555	1,4314	1,48	1,5297
0,0875	1,5833	1,515	1,4695	1,5438	1,5617
0,0938	1,7001	1,5406	1,5218	1,5758	1,626
0,1	1,7868	1,6025	1,6026	1,6255	1,6774
0,1063	1,8439	1,6351	1,6453	1,6876	1,7064
0,1125	1,8775	1,6725	1,7223	1,7743	1,7906

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	7kg
0,11875	1,8878	1,9457	1,9725	1,6349
0,125	1,9063	2,0234	2,0213	1,6381
0,13125	1,8846	2,0864	2,0334	1,6306
0,1375	1,8887	2,0988	2,021	1,6531
0,14375	1,9177	2,1065	1,9922	1,669
0,15	1,9646	2,0565	1,9469	1,7062
0,15625	1,9985	2,0537	1,9209	1,7714
0,1625	2,0315	2,011	1,9278	1,8213
0,16875	2,0536	1,9679	1,9124	1,853
0,175	2,0699	1,9505	1,9052	1,9411
0,18125	2,0872	1,9307	1,9218	1,9996
0,1875	2,0987	1,9181	1,9785	2,0007
0,19375	2,1517	1,9412	2,0538	2,0397
0,2	2,1752	1,9623	2,0797	2,1052
0,20625	2,1767	2,0152	2,1101	2,127
0,2125	2,1835	2,068	2,0724	2,1297
0,21875	2,209	2,1149	2,2025	2,1368
0,225	2,224	2,2269	2,266	2,1665
0,23125	2,2097	2,3216	2,3618	2,1539
0,2375	2,2609	2,4102	2,466	2,1755
0,24375	2,2978	2,4737	2,5108	2,2451
0,25	2,382	2,5936	2,5603	2,2791
0,25625	2,4123	2,6813	2,592	2,2894
0,2625	2,427	2,6984	2,6175	2,35
0,26875	2,545	2,7372	2,6467	2,4008
0,275	2,6652	2,7845	2,6718	2,5048
0,28125	2,7636	2,7869	2,758	2,5595
0,2875	2,7916	2,8107	2,7958	2,6014
0,29375	2,8615	2,8617	2,8633	2,634
0,3	2,9206	2,9431	2,941	2,7023
0,30625	2,9353	2,9897	2,9931	2,7456
0,3125	2,9316	3,0612	3,1214	2,7458
0,31875	2,9434	3,1857	3,1819	2,7491
0,325	2,9571	3,2463	3,1356	2,7621
0,33125	2,9453	3,2702	3,1213	2,7374
0,3375	2,9867	3,2138	3,1286	2,7438
0,34375	3,0798	3,218	3,1021	2,8001
0,35	3,1302	3,2225	3,0711	2,8978
0,35625	3,2351	3,1808	3,0289	2,9541
0,3625	3,3267	3,1264	3,0592	3,0585
0,36875	3,3863	3,1243	3,0723	3,1911

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,1188	1,934	1,7547	1,7546	1,8042	1,7831
0,125	1,945	1,8299	1,775	1,8125	1,687
0,1313	1,9498	1,863	1,8127	1,8005	1,6827
0,1375	1,9635	1,8843	1,8123	1,7927	1,7135
0,1438	1,9677	1,9268	1,8004	1,7727	1,7074
0,15	1,9664	1,9395	1,7995	1,7638	1,6897
0,1563	2,0151	1,928	1,8108	1,7498	1,6659
0,1625	2,0693	1,9157	1,7994	1,7479	1,6648
0,1688	2,1401	1,9209	1,8105	1,7395	1,642
0,175	2,17	1,8993	1,8453	1,7262	1,6466
0,1813	2,2249	1,9138	1,9065	1,7342	1,6672
0,1875	2,3139	1,9699	1,9459	1,7596	1,6995
0,1938	2,3687	2,0358	2,0211	1,824	1,7263
0,2	2,4697	2,0732	2,1206	1,8615	1,7767
0,2063	2,5164	2,1315	2,2128	1,9521	1,8798
0,2125	2,5562	2,2171	2,2489	2,0839	1,9465
0,2188	2,564	2,2719	2,2806	2,2117	2,0747
0,225	2,5407	2,3802	2,3192	2,2588	2,1552
0,2313	2,5171	2,4175	2,3414	2,3209	2,226
0,2375	2,5267	2,437	2,3599	2,3986	2,2511
0,2438	2,5401	2,4595	2,3653	2,4332	2,2723
0,25	2,5497	2,5001	2,3584	2,4651	2,2861
0,2563	2,587	2,5198	2,3324	2,4855	2,2985
0,2625	2,6686	2,5325	2,3093	2,5186	2,3316
0,2688	2,7613	2,5652	2,3584	2,5223	2,3227
0,275	2,8375	2,5372	2,3933	2,5249	2,3893
0,2813	2,8553	2,5333	2,4833	2,5862	2,4328
0,2875	2,9117	2,557	2,5645	2,5901	2,5351
0,2938	3,0037	2,6343	2,596	2,6432	2,6279
0,3	3,0441	2,7081	2,6889	2,6865	2,6354
0,3063	3,1026	2,7366	2,7913	2,7188	2,6839
0,3125	3,1639	2,8259	2,8581	2,8142	2,7827
0,3188	3,2206	2,9354	2,8746	2,9172	2,8291
0,325	3,2344	2,9795	2,9399	2,9804	2,8826
0,3313	3,2633	3,0429	3,0031	3,0141	2,9274
0,3375	3,3039	3,1155	3,0209	3,0869	2,9741
0,3438	3,3093	3,1781	3,0365	3,15	2,9979
0,35	3,3075	3,1979	3,0713	3,1656	3,0191
0,3563	3,388	3,2067	3,0883	3,1858	3,0503
0,3625	3,4334	3,2375	3,079	3,2246	3,0676
0,3688	3,5281	3,2549	3,1441	3,2212	3,0593

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	7kg
0,375	3,4942	3,1646	3,0884	3,2594
0,38125	3,5274	3,1748	3,1398	3,3636
0,3875	3,4919	3,1872	3,1561	3,3812
0,39375	3,4942	3,1916	3,158	3,3585
0,4	3,5006	3,1873	3,1603	3,3628
0,40625	3,4703	3,1915	3,1849	3,3385
0,4125	3,4443	3,1903	3,1982	3,2756
0,41875	3,4113	3,2102	3,1911	3,2612
0,425	3,3821	3,2352	3,2227	3,2493
0,43125	3,3492	3,2558	3,2877	3,1994
0,4375	3,3143	3,3275	3,3217	3,1822
0,44375	3,3227	3,4021	3,3659	3,1873
0,45	3,3286	3,4582	3,3752	3,1984
0,45625	3,3363	3,4793	3,376	3,2167
0,4625	3,3198	3,4831	3,3972	3,2155
0,46875	3,3774	3,5097	3,4069	3,2497
0,475	3,4121	3,533	3,414	3,3324
0,48125	3,4785	3,5392	3,4859	3,3541
0,4875	3,5359	3,5758	3,5763	3,3877
0,49375	3,6205	3,6109	3,6931	3,4647
0,5	3,6697	3,7084	3,7413	3,5485
0,50625	3,7407	3,8155	3,8561	3,5866
0,5125	3,7743	3,9255	4,0087	3,6183
0,51875	3,7972	4,0039	4,0863	3,6564
0,525	3,8501	4,1766	4,2142	3,6824
0,53125	3,8603	4,3311	4,3295	3,7041
0,5375	3,8865	4,3753	4,382	3,7518
0,54375	3,9796	4,3554	4,3407	3,8479
0,55	4,0974	4,4121	4,3137	3,9051
0,55625	4,2159	4,4822	4,3543	4,0204
0,5625	4,2764	4,4894	4,3832	4,1294
0,56875	4,4307	4,5324	4,4167	4,2047
0,575	4,4434	4,5802	4,4492	4,3489
0,58125	4,4157	4,5777	4,4922	4,3117
0,5875	4,3799	4,6136	4,5909	4,274
0,59375	4,4031	4,7013	4,7034	4,2404
0,6	4,4376	4,7375	4,7912	4,2828
0,60625	4,4458	4,7939	4,8493	4,3004
0,6125	4,4945	4,8953	4,9566	4,3146
0,61875	4,5444	5,0362	5,0089	4,3588
0,625	4,5672	5,1162	5,0577	4,411
0,63125	4,5657	5,2369	5,156	4,4193
0,6375	4,6186	5,2764	5,2702	4,4625

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,375	3,5937	3,2434	3,2425	3,2267	3,1119
0,3813	3,6493	3,2956	3,2947	3,3035	3,2062
0,3875	3,6659	3,3819	3,3861	3,3959	3,2604
0,3938	3,7195	3,4259	3,4479	3,4434	3,3664
0,4	3,7582	3,5102	3,4816	3,5291	3,452
0,4063	3,7568	3,5764	3,5164	3,5971	3,4965
0,4125	3,7535	3,6078	3,5397	3,6265	3,5618
0,4188	3,7441	3,6435	3,546	3,6623	3,5894
0,425	3,723	3,6707	3,5472	3,6929	3,5982
0,4313	3,6697	3,6789	3,5415	3,7115	3,6236
0,4375	3,6395	3,6853	3,5044	3,7176	3,6256
0,4438	3,5816	3,6904	3,4787	3,707	3,5828
0,45	3,5558	3,647	3,4429	3,6547	3,554
0,4563	3,5523	3,6144	3,4063	3,6294	3,5123
0,4625	3,5347	3,5707	3,3722	3,5942	3,4809
0,4688	3,528	3,5353	3,3525	3,5435	3,4464
0,475	3,5244	3,5011	3,3522	3,5073	3,42
0,4813	3,5469	3,4791	3,346	3,5054	3,4101
0,4875	3,6461	3,4798	3,3514	3,5018	3,4104
0,4938	3,7181	3,471	3,3792	3,5129	3,415
0,5	3,8454	3,469	3,4408	3,5212	3,4396
0,5063	3,9375	3,4758	3,4951	3,5656	3,5162
0,5125	3,9904	3,5396	3,62	3,6345	3,5639
0,5188	4,0833	3,6024	3,6897	3,6892	3,6676
0,525	4,1344	3,7313	3,7876	3,7843	3,7428
0,5313	4,1488	3,8184	3,8366	3,8475	3,7849
0,5375	4,1928	3,8685	3,9023	3,9442	3,8712
0,5438	4,2211	3,9731	3,9371	3,9866	3,9166
0,55	4,2598	4,0419	3,958	4,0317	3,9293
0,5563	4,303	4,0801	3,9984	4,0684	3,9529
0,5625	4,4086	4,103		4,0913	3,9939
0,5688	4,5446	4,1496		4,1312	
0,575	4,6054	4,1595			
0,5813	4,7257	4,1971			
0,5875	4,755	4,2951			
0,5938	4,7116	4,4129			
0,6	4,7101	4,4771			
0,6063	4,7349	4,5965			
0,6125	4,7926	4,7436			
0,6188	4,8147	4,7612			
0,625	4,8601	4,7332			
0,6313	4,886	4,6845			
0,6375	4,9048	4,7129			

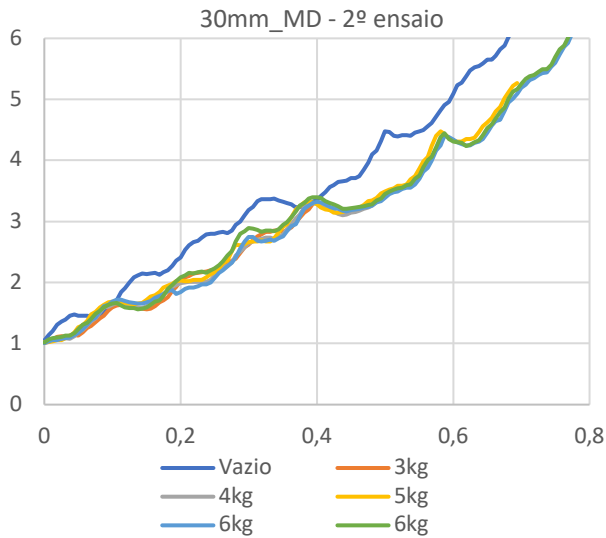
x (mm)	Vazio	5kg	6kg	7kg
0,64375	4,6649		5,3637	4,5415
0,65	4,7732		5,3896	4,6252
0,65625	4,8872		5,4416	4,6632
0,6625	4,9892		5,5059	4,7479
0,66875	5,066		5,5197	4,8847
0,675	5,213		5,5573	4,9614
0,68125	5,3104		5,6625	5,1009
0,6875	5,334		5,728	5,1876
0,69375	5,4461		5,8725	5,2288
0,7	5,5609		6,0008	5,3073
0,70625	5,6308		6,1678	5,36
0,7125	5,651		6,2621	5,3865
0,71875	5,7076			5,4085
0,725	5,7634			5,4662
0,73125	5,7633			5,4848
0,7375	5,8291			5,5142
0,74375	5,9336			5,6113
0,75	5,9972			5,7363
0,75625	6,1275			5,8041
0,7625	6,2534			5,9322
0,76875	6,4236			6,0989
0,775	6,5127			6,2795
0,78125	6,6748			6,3662
0,7875	6,7908			6,4917
0,79375	6,8586			6,6256
0,8	6,9856			6,6929
0,80625	7,0634			6,797
0,8125	7,1081			6,843
0,81875	7,1377			6,9034
0,825	7,1937			
0,83125	7,207			
0,8375	7,2439			
0,84375	7,3531			
0,85	7,4889			
0,85625	7,6187			
0,8625	7,7735			
0,86875	7,8681			
0,875	8,061			
0,88125	8,2209			
0,8875	8,3555			
0,89375	8,4265			

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,6438	4,9384	4,7352			
0,65	4,9419	4,7513			
0,6563	5,0212	4,7727			
0,6625	5,0699	4,807			
0,6688	5,1829	4,8326			
0,675	5,2846	4,8322			
0,6813	5,3397	4,8885			
0,6875	5,4534	4,9332			
0,6938	5,582	5,0384			
0,7	5,7072	5,1544			
0,7063	5,7669	5,2046			
0,7125	5,8954	5,3352			
0,7188	5,9925				
0,725	6,016				
0,7313	6,0598				
0,7375	6,1245				
0,7438	6,1468				
0,75	6,1709				
0,7563	6,2674				
0,7625	6,3982				
0,7688	6,4653				
0,775	6,5896				
0,7813	6,7482				
0,7875	6,8371				
0,7938	7,0139				
0,8	7,1551				
0,8063	7,2807				
0,8125	7,3506				
0,8188	7,4622				
0,825	7,5086				
0,8313	7,5304				
0,8375	7,586				
0,8438	7,6128				
0,85	7,6224				
0,8563	7,7182				
0,8625	7,8494				
0,8688	7,9918				
0,875	8,0519				
0,8813	8,2065				
0,8875	8,3986				
0,8938	8,4945				

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	7kg
0,9	8,5384			
0,90625	8,6			
0,9125	8,6264			
0,91875	8,6918			
0,925	8,7225			
0,93125	8,7528			
0,9375	8,8035			
0,94375	8,9308			
0,95	9,0862			
0,95625	9,1561			
0,9625	9,311			
0,96875	9,5117			
0,975	9,7061			
0,98125	9,7887			
0,9875	9,9252			
0,99375	10,0728			
1	10,1332			
1,00625	10,1985			
1,0125	10,2406			

x (mm)	Vazio	5kg	4kg	4kg	4kg
0,9	8,6473				
0,9063	8,7758				
0,9125	8,9057				
0,9188	8,9557				
0,925	9,0059				
0,9313	9,0531				
0,9375	9,0812				
0,9438	9,116				
0,95	9,1485				
0,9563	9,1989				
0,9625	9,3277				
0,9688	9,4815				
0,975	9,6101				
0,9813	9,6928				
0,9875	9,8838				
0,9938	10,068				
1	10,141				
1,0063	10,266				

30mm_MD - 2º ensaio



30mm_MD - 3º ensaio

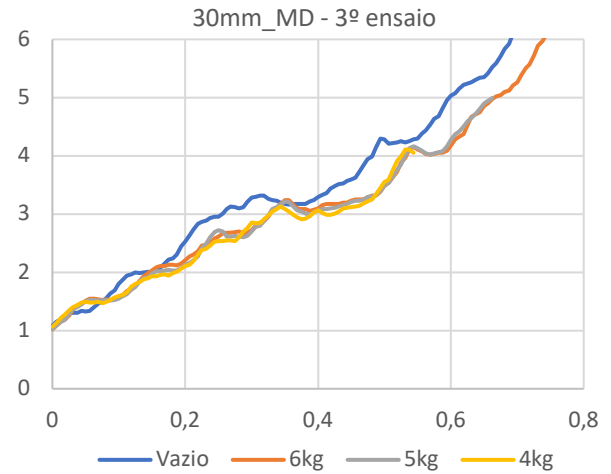


Figura 86 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_MD_2º ensaio

Figura 87 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_MD_3º ensaio

		2º ensaio					
		Força Máxima/ F(kg)					
		NC	NC	D	S	S	S
x (mm)	Vazio	3kg	4kg	5kg	6kg	6kg	6kg
0	1,0513	1,012	1,0183	1,0216	1,0069	1,0179	1,0158
0,00625	1,1459	1,0267	1,0535	1,0231	1,0321	1,0689	1,0448
0,0125	1,2019	1,0688	1,0609	1,0326	1,0591	1,0934	1,0436
0,01875	1,3062	1,1103	1,0589	1,0537	1,0574	1,0989	1,0497
0,025	1,3664	1,1167	1,0747	1,0606	1,0782	1,1148	1,0745
0,03125	1,3976	1,1129	1,0848	1,0888	1,0901	1,1352	1,0852
0,0375	1,4549	1,1283	1,077	1,1176	1,0949	1,1356	1,1113
0,04375	1,4733	1,1399	1,1157	1,1859	1,141	1,1735	1,1377
0,05	1,4544	1,1298	1,1848	1,2651	1,1695	1,2324	1,205
0,05625	1,4519	1,1864	1,2274	1,2964	1,2332	1,3085	1,2824
0,0625	1,4606	1,2564	1,2949	1,3713	1,3111	1,3402	1,3161
0,06875	1,444	1,2896	1,364	1,4725	1,3812	1,4006	1,3934
0,075	1,4511	1,3528	1,411	1,5198	1,4263	1,4888	1,4902
0,08125	1,4794	1,4123	1,5125	1,5926	1,5279	1,5359	1,5889
0,0875	1,5233	1,453	1,5898	1,6369	1,6165	1,5973	1,6266
0,09375	1,5559	1,5419	1,6019	1,6774	1,6392	1,6298	1,6616
0,1	1,604	1,5946	1,6377	1,6892	1,6829	1,6507	1,7004

		3º ensaio		
		Força Máxima/ F(kg)		
		S	S	NC
x (mm)	Vazio	6kg	5kg	4kg
0	1,0837	1,0183	1,022	1,0676
0,00625	1,1535	1,0868	1,0903	1,134
0,0125	1,1919	1,1527	1,151	1,2169
0,01875	1,2546	1,1832	1,1871	1,2677
0,025	1,2927	1,2636	1,2779	1,3519
0,03125	1,3004	1,3563	1,3685	1,4059
0,0375	1,3092	1,4372	1,4078	1,4381
0,04375	1,3346	1,4615	1,4531	1,4842
0,05	1,3246	1,5134	1,4999	1,4933
0,05625	1,3425	1,5437	1,5274	1,4797
0,0625	1,4005	1,548	1,5259	1,4806
0,06875	1,4631	1,533	1,517	1,4902
0,075	1,4985	1,5243	1,524	1,4743
0,08125	1,554	1,5337	1,522	1,4892
0,0875	1,6373	1,5225	1,5106	1,5287
0,09375	1,6907	1,54	1,5282	1,5717
0,1	1,8011	1,5844	1,5445	1,5928

x (mm)	Vazio	3kg	4kg	5kg	6kg	6kg	6kg
0,10625	1,7036	1,6214	1,6634	1,6746	1,7154	1,669	1,7104
0,1125	1,8438	1,6368	1,6495	1,6612	1,7192	1,625	1,691
0,11875	1,9088	1,64	1,6342	1,6616	1,6952	1,59	1,6645
0,125	1,9996	1,6158	1,6134	1,6509	1,6775	1,5858	1,6571
0,13125	2,0854	1,602	1,5947	1,6436	1,671	1,583	1,6499
0,1375	2,1177	1,5809	1,579	1,6501	1,6545	1,5603	1,6244
0,14375	2,1518	1,5741	1,5861	1,6637	1,6532	1,5665	1,636
0,15	2,1385	1,5615	1,6135	1,7214	1,677	1,591	1,6534
0,15625	2,1477	1,5716	1,6685	1,7756	1,6981	1,6379	1,6907
0,1625	2,1538	1,6132	1,6923	1,7896	1,745	1,688	1,717
0,16875	2,1298	1,6724	1,7266	1,8417	1,7803	1,7055	1,7328
0,175	2,1741	1,7104	1,8139	1,9213	1,8096	1,7785	1,8108
0,18125	2,2035	1,7614	1,8555	1,9461	1,8646	1,9001	1,8735
0,1875	2,2704	1,8629	1,9258	1,9792	1,8729	1,9554	1,9237
0,19375	2,3604	1,9232	1,9634	2,0175	1,8143	2,0229	1,9413
0,2	2,4054	2,0313	1,9858	2,0308	1,8458	2,0901	1,994
0,20625	2,5316	2,0804	2,0029	2,0254	1,896	2,1189	2,0355
0,2125	2,6124	2,1072	2,0089	2,0206	1,921	2,1554	2,04
0,21875	2,6612	2,149	2,009	2,0436	1,9221	2,1482	2,0484
0,225	2,6797	2,1585	2,0127	2,0416	1,9411	2,1671	2,0709
0,23125	2,7359	2,1682	2,019	2,0452	1,9671	2,1747	2,0749
0,2375	2,7843	2,1798	2,0112	2,0868	1,9718	2,1592	2,0773
0,24375	2,7963	2,2036	2,0396	2,1398	2,0003	2,2051	2,1367
0,25	2,7957	2,1923	2,1201	2,1707	2,0716	2,2312	2,2108
0,25625	2,8145	2,1933	2,1855	2,2365	2,1576	2,2798	2,2484
0,2625	2,8294	2,2433	2,2514	2,3138	2,2005	2,3471	2,2965
0,26875	2,8128	2,2992	2,278	2,3618	2,2614	2,4379	2,3945
0,275	2,8472	2,3553	2,3232	2,5183	2,3318	2,5113	2,4623
0,28125	2,9415	2,3892	2,4389	2,621	2,4065	2,6702	2,5861
0,2875	2,993	2,4813	2,5006	2,6126	2,5619	2,7998	2,5887
0,29375	3,0993	2,5743	2,5827	2,6336	2,6683	2,8427	2,6197
0,3	3,1874	2,6226	2,6412	2,6674	2,7503	2,8882	2,6396
0,30625	3,2393	2,6897	2,6676	2,6703	2,7494	2,8856	2,6691
0,3125	3,3312	2,7583	2,7056	2,6764	2,6806	2,8608	2,6647
0,31875	3,3673	2,7916	2,716	2,6922	2,6675	2,8344	2,6697
0,325	3,3627	2,8313	2,7337	2,6731	2,682	2,8523	2,6907
0,33125	3,3696	2,8341	2,7371	2,6722	2,7014	2,8539	2,6827
0,3375	3,3757	2,8479	2,7144	2,7287	2,6799	2,8368	2,6763
0,34375	3,349	2,8543	2,758	2,8149	2,7254	2,871	2,7325
0,35	3,3264	2,8295	2,7922	2,9088	2,7611	2,9448	2,8211
0,35625	3,2982	2,8656	2,8764	2,9562	2,8389	2,9883	2,9295
0,3625	3,2774	2,9021	2,9592	3,073	2,9195	3,0738	2,9796
0,36875	3,2308	2,9861	3,047	3,2003	2,96	3,1623	3,0866

x (mm)	Vazio	6kg	5kg	4kg
0,10625	1,8737	1,6118	1,5884	1,6084
0,1125	1,9405	1,6757	1,6282	1,6619
0,11875	1,9669	1,7263	1,6957	1,7556
0,125	1,9935	1,765	1,7464	1,8036
0,13125	1,9882	1,8574	1,8433	1,8379
0,1375	1,9942	1,9361	1,8968	1,8732
0,14375	2,0132	1,99	1,9149	1,9007
0,15	1,9979	2,0251	1,9705	1,928
0,15625	2,0426	2,0824	2,0141	1,9332
0,1625	2,075	2,1021	2,0236	1,9541
0,16875	2,1539	2,1044	2,0287	1,9592
0,175	2,2188	2,1271	2,0467	1,945
0,18125	2,2384	2,1336	2,0346	1,9837
0,1875	2,3026	2,1222	2,035	2,0097
0,19375	2,4504	2,1482	2,0786	2,066
0,2	2,5224	2,2069	2,1342	2,1102
0,20625	2,634	2,2751	2,1661	2,1264
0,2125	2,7394	2,3047	2,2111	2,19
0,21875	2,8332	2,3601	2,2754	2,3079
0,225	2,8643	2,4546	2,4152	2,3799
0,23125	2,8929	2,4701	2,4903	2,3995
0,2375	2,9312	2,5097	2,6017	2,4632
0,24375	2,9501	2,5777	2,6863	2,5275
0,25	2,9495	2,6115	2,7206	2,5379
0,25625	3,005	2,6667	2,7053	2,5333
0,2625	3,0895	2,6844	2,617	2,5462
0,26875	3,127	2,6818	2,614	2,5461
0,275	3,1153	2,6887	2,6237	2,538
0,28125	3,0944	2,6974	2,6138	2,5979
0,2875	3,124	2,6682	2,604	2,7019
0,29375	3,2033	2,6787	2,6282	2,7587
0,3	3,281	2,7284	2,699	2,8591
0,30625	3,2997	2,7991	2,7778	2,8393
0,3125	3,3173	2,8561	2,8045	2,8394
0,31875	3,3135	2,8766	2,8742	2,9089
0,325	3,261	2,9508	2,9806	2,9815
0,33125	3,2425	3,0614	3,0844	3,0443
0,3375	3,2288	3,1123	3,1183	3,0841
0,34375	3,201	3,1748	3,1623	3,1354
0,35	3,1703	3,236	3,2158	3,0909
0,35625	3,1664	3,2414	3,2114	3,0472
0,3625	3,173	3,1587	3,1304	2,9842
0,36875	3,1704	3,0961	3,0651	2,9417

x (mm)	Vazio	3kg	4kg	5kg	6kg	6kg	6kg
0,375	3,2354	3,0652	3,1112	3,2509	3,0845	3,2593	3,212
0,38125	3,2437	3,1457	3,2288	3,309	3,2088	3,3059	3,2684
0,3875	3,2574	3,1951	3,2838	3,3229	3,2608	3,3755	3,3325
0,39375	3,322	3,285	3,2931	3,3124	3,3026	3,3938	3,3561
0,4	3,3583		3,2994	3,2851	3,3212	3,3979	3,3649
0,40625	3,4171		3,2622	3,227	3,3084	3,3838	3,3569
0,4125	3,4841		3,2358	3,1933	3,2857	3,3291	3,3011
0,41875	3,5618		3,1877	3,1829	3,2339	3,3037	3,2844
0,425	3,5996		3,1631	3,1456	3,2139	3,2849	3,2743
0,43125	3,6484		3,1249	3,145	3,21	3,2529	3,224
0,4375	3,6555		3,1042	3,1593	3,1726	3,2103	3,1866
0,44375	3,6703		3,1173	3,1818	3,1649	3,2081	3,1916
0,45	3,7075		3,1476	3,1991	3,1835	3,2153	3,2164
0,45625	3,7074		3,1597	3,2092	3,1952	3,2332	3,2381
0,4625	3,7406		3,1762	3,2249	3,205	3,2377	3,2386
0,46875	3,8435		3,2028	3,2701	3,2238	3,2471	3,2526
0,475	3,9674		3,229	3,3287	3,242	3,2693	3,2861
0,48125	4,0956		3,2597	3,3487	3,2607	3,2819	3,3443
0,4875	4,1571		3,3233	3,3854	3,3132	3,3449	3,3728
0,49375	4,3182		3,3738	3,4598	3,3374	3,3807	3,3951
0,5	4,4721		3,4087	3,4913	3,386	3,451	3,4672
0,50625	4,4644		3,4743	3,5174	3,4509	3,4895	3,5001
0,5125	4,3999		3,5097	3,5459	3,4835	3,5239	3,5383
0,51875	4,3931		3,5203	3,5834	3,4914	3,5382	3,5675
0,525	4,419		3,5541	3,5857	3,5279	3,558	3,6054
0,53125	4,4188		3,5898	3,6098	3,5576	3,5975	3,6126
0,5375	4,4011		3,6189	3,6927	3,5569	3,6085	3,6347
0,54375	4,4528		3,6579	3,7455	3,6081	3,6962	3,723
0,55	4,4808		3,7443	3,8659	3,7006	3,7565	3,7792
0,55625	4,4947		3,857	3,9835	3,8176	3,8888	3,9036
0,5625	4,5612		3,9126	4,0562	3,8763	4,0066	4,0193
0,56875	4,6098		4,0235	4,2305	3,9971	4,0589	4,1666
0,575	4,7174		4,1955	4,3992	4,1649	4,2094	4,2541
0,58125	4,8268		4,2864	4,4786	4,2499	4,3815	4,4187
0,5875	4,9053			4,4388	4,4037	4,4477	4,5176
0,59375	4,962			4,3739	4,3782	4,3493	4,4657
0,6	5,0948			4,3333	4,3433	4,3066	4,3878
0,60625	5,2271			4,3112	4,2967	4,3012	4,3525
0,6125	5,2751			4,3116	4,2662	4,2896	4,3294
0,61875	5,3774			4,3523	4,2495	4,2386	4,3133
0,625	5,4688			4,3551	4,2509	4,2591	4,3366

x (mm)	Vazio	6kg	5kg	4kg
0,375	3,1691	3,0895	3,0431	2,9079
0,38125	3,1775	3,0846	3,0078	2,9168
0,3875	3,2169	3,0488	2,9894	2,9603
0,39375	3,2381	3,0696	3,0326	3,0298
0,4	3,2993	3,0919	3,0587	3,0586
0,40625	3,3279	3,1549	3,0859	3,0205
0,4125	3,3611	3,1763	3,0902	2,9872
0,41875	3,4383	3,1716	3,0934	2,9866
0,425	3,485	3,1751	3,1069	3,0112
0,43125	3,5124	3,1754	3,1305	3,0469
0,4375	3,5306	3,1929	3,1557	3,0923
0,44375	3,5694	3,2009	3,1702	3,1066
0,45	3,5888	3,2263	3,2048	3,1156
0,45625	3,6284	3,2471	3,2289	3,1264
0,4625	3,7285	3,2511	3,2278	3,1419
0,46875	3,8412	3,2507	3,2496	3,1876
0,475	3,9387	3,2851	3,2958	3,2132
0,48125	3,9919	3,3129	3,3062	3,2506
0,4875	4,1421	3,3143	3,329	3,3424
0,49375	4,2923	3,3778	3,3971	3,449
0,5	4,288	3,4765	3,4833	3,5424
0,50625	4,2035	3,5324	3,5388	3,5926
0,5125	4,2165	3,6295	3,6332	3,7435
0,51875	4,2315	3,7264	3,7584	3,9134
0,525	4,2504	3,8806	3,8429	3,989
0,53125	4,2312	3,9644	4,0085	4,1032
0,5375	4,2547	4,1087	4,129	4,1076
0,54375	4,2836	4,1513	4,1657	4,0566
0,55	4,2994	4,1042	4,1319	
0,55625	4,3862	4,0708	4,0814	
0,5625	4,4369	4,0345	4,0385	
0,56875	4,5352	4,0183	4,0226	
0,575	4,634	4,0295	4,0438	
0,58125	4,6777	4,0549	4,062	
0,5875	4,8152	4,0522	4,0758	
0,59375	4,9536	4,0855	4,1641	
0,6	5,0331	4,1743	4,2716	
0,60625	5,0708	4,2813	4,3775	
0,6125	5,1578	4,3274	4,4152	
0,61875	5,2205	4,3776	4,5078	
0,625	5,2439	4,5216	4,5951	

x (mm)	Vazio	3kg	4kg	5kg	6kg	6kg	6kg
0,63125	5,5241			4,376	4,2893	4,2971	4,3151
0,6375	5,5421			4,4615	4,3133	4,325	4,3362
0,64375	5,5935			4,5622	4,3537	4,4157	4,4296
0,65	5,6478			4,6198	4,455	4,5339	4,5539
0,65625	5,65			4,698	4,5717	4,5903	4,6179
0,6625	5,7144			4,8057	4,6445	4,6885	4,7166
0,66875	5,8231			4,8797	4,6703	4,7932	4,8411
0,675	5,8875			5,0219	4,8118	4,8658	4,9869
0,68125	6,0199			5,1171	4,9522	5,0149	5,0532
0,6875	6,15			5,2183	5,0129	5,1221	5,1518
0,69375	6,328			5,2681	5,0928	5,1641	5,242
0,7	6,4171				5,1916	5,2511	5,276
0,70625	6,5771				5,24	5,3337	5,3326
0,7125	6,6958				5,3128	5,3839	5,3763
0,71875	6,7634				5,3471	5,4025	5,3982
0,725	6,8812				5,4032	5,4567	5,4535
0,73125	6,957				5,4272	5,4983	5,4854
0,7375	6,9977				5,4462	5,4974	5,5462
0,74375	7,0235				5,5357	5,5715	5,5964
0,75	7,083				5,596	5,6908	5,7184
0,75625	7,1053				5,7304	5,8213	5,8539
0,7625	7,148				5,8579	5,8783	5,9166
0,76875	7,2599				5,9226	6,0052	6,0731
0,775	7,3892				6,0917	6,1773	6,2525
0,78125	7,4557				6,2664	6,2631	
0,7875	7,5798				6,4123	6,4155	
0,79375	7,7462						
0,8	7,9239						
0,80625	8,0077						
0,8125	8,133						
0,81875	8,2651						
0,825	8,3254						
0,83125	8,4067						
0,8375	8,4489						
0,84375	8,5025						
0,85	8,527						
0,85625	8,5383						
0,8625	8,6174						
0,86875	8,6736						
0,875	8,8037						
0,88125	8,9353						
0,8875	8,9958						
0,89375	9,163						

x (mm)	Vazio	6kg	5kg	4kg
0,63125	5,2634	4,6677	4,6465	
0,6375	5,3035	4,7158	4,7265	
0,64375	5,34	4,7465	4,796	
0,65	5,3471	4,8515	4,8951	
0,65625	5,4176	4,9051	4,9428	
0,6625	5,5255	4,9785	4,993	
0,66875	5,5889	5,0215		
0,675	5,7116	5,0464		
0,68125	5,8396	5,0983		
0,6875	5,9225	5,1225		
0,69375	6,0945	5,2113		
0,7	6,2468	5,2656		
0,70625	6,3683	5,3872		
0,7125	6,4307	5,507		
0,71875	6,5412	5,5673		
0,725	6,5981	5,7247		
0,73125	6,6164	5,8909		
0,7375	6,6713	5,9637		
0,74375	6,7189	6,0772		
0,75	6,7482	6,1963		
0,75625	6,795	6,3003		
0,7625	6,8995			
0,76875	7,0156			
0,775	7,0725			
0,78125	7,1947			
0,7875	7,3566			
0,79375	7,4391			
0,8	7,5906			
0,80625	7,704			
0,8125	7,8308			
0,81875	7,8837			
0,825	7,9463			
0,83125	7,9843			
0,8375	8,0108			
0,84375	8,0557			
0,85	8,0606			
0,85625	8,1497			
0,8625	8,205			
0,86875	8,3297			
0,875	8,4466			
0,88125	8,5089			
0,8875	8,6719			
0,89375	8,8416			

x (mm)	Vazio	3kg	4kg	5kg	6kg	6kg	6kg
0,9	9,3515						
0,90625	9,5151						
0,9125	9,5724						
0,91875	9,7046						
0,925	9,8257						
0,93125	9,8632						
0,9375	9,8988						
0,94375	9,95						
0,95	9,9972						
0,95625	9,9898						
0,9625	10,0566						

x (mm)	Vazio	6kg	5kg	4kg
0,9	8,9185			
0,90625	9,0303			
0,9125	9,1591			
0,91875	9,2581			
0,925	9,2847			
0,93125	9,3177			
0,9375	9,3682			
0,94375	9,3938			
0,95	9,3876			
0,95625	9,4782			
0,9625	9,597			
0,96875	9,659			
0,975	9,786			
0,98125	9,9244			
0,9875	10,0079			
0,99375	10,1809			
1	10,3351			

30mm_Massa - 1º ensaio

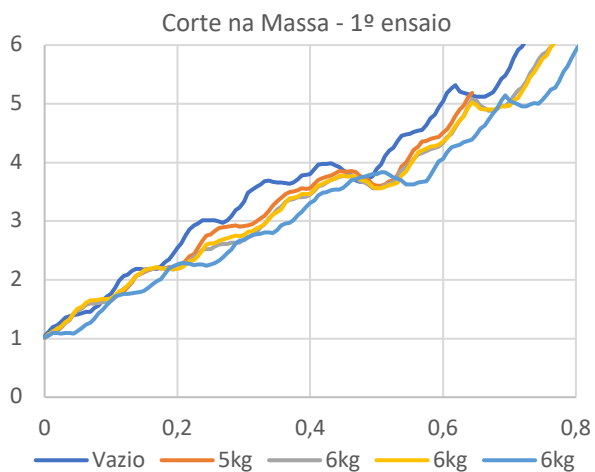


Figura 88 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_Massa_1º ensaio

30mm_Massa - 2º ensaio

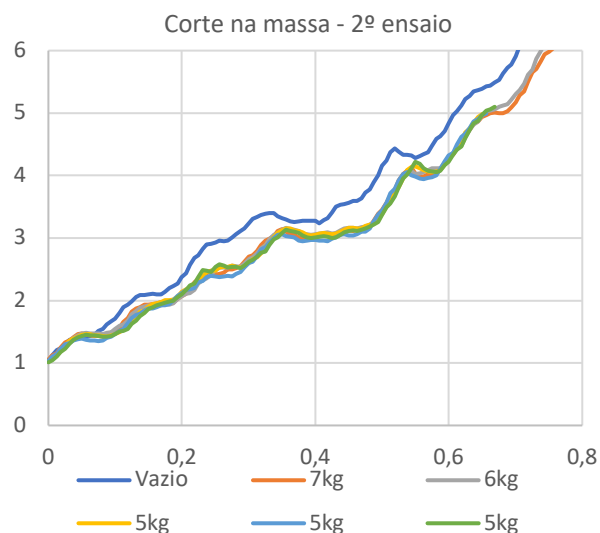


Figura 89 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_Massa_2º ensaio

		1º ensaio						3º ensaio				
		Força Máxima/ F(kg)						Força Máxima/ F(kg)				
		D	S	S	S			S	S	D	D	NC
x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg	x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0	1,0392	1,0104	1,0093	1,0188	1,0227	0	1,0297	1,0558	1,033	1,0224	1,0338	1,0104
0,0063	1,1175	1,0593	1,064	1,0761	1,0559	0,0063	1,1271	1,119	1,0673	1,0881	1,1043	1,046
0,0125	1,1939	1,0909	1,1251	1,11	1,0983	0,0125	1,2082	1,1578	1,1295	1,1164	1,1457	1,1048
0,0188	1,2309	1,1382	1,1464	1,1709	1,0955	0,0188	1,2338	1,2493	1,214	1,1841	1,2284	1,1797
0,025	1,2831	1,1766	1,1912	1,2063	1,0801	0,025	1,3093	1,3297	1,2644	1,2746	1,2977	1,2215
0,0313	1,3514	1,264	1,2692	1,276	1,096	0,0313	1,3691	1,3577	1,3484	1,3561	1,3173	1,3037
0,0375	1,3812	1,3138	1,3167	1,326	1,0931	0,0375	1,3881	1,4159	1,4054	1,3888	1,3589	1,3683
0,0438	1,3958	1,4174	1,4189	1,4309	1,0879	0,0438	1,3934	1,4581	1,4466	1,4198	1,3848	1,4085
0,05	1,4131	1,485	1,4811	1,5038	1,125	0,05	1,4077	1,4678	1,4684	1,4527	1,387	1,4287
0,0563	1,4311	1,5251	1,5174	1,5454	1,1795	0,0563	1,4238	1,4551	1,4871	1,4654	1,3692	1,4556
0,0625	1,4511	1,5864	1,5743	1,6092	1,2412	0,0625	1,4286	1,4368	1,4753	1,46	1,3607	1,445
0,0688	1,4599	1,615	1,5914	1,6489	1,2688	0,0688	1,4541	1,436	1,47	1,4405	1,3588	1,438
0,075	1,5205	1,6136	1,6009	1,6535	1,3329	0,075	1,5131	1,4276	1,4737	1,437	1,3466	1,431
0,0813	1,5633	1,6225	1,6114	1,6588	1,4287	0,0813	1,5435	1,4232	1,4652	1,435	1,3622	1,4226

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg	x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,0875	1,648	1,647	1,6198	1,6774	1,4841	0,0875	1,6129	1,451	1,4778	1,4235	1,3973	1,4218
0,0938	1,7187	1,6285	1,6255	1,6706	1,5747	0,0938	1,6704	1,4709	1,4979	1,4455	1,4194	1,429
0,1	1,7619	1,6414	1,6511	1,6819	1,6432	0,1	1,71	1,5172	1,5429	1,4585	1,4656	1,4592
0,1063	1,8703	1,7014	1,714	1,7363	1,7175	0,1063	1,8054	1,5695	1,5924	1,4935	1,5085	1,4999
0,1125	1,9879	1,7677	1,7874	1,8035	1,7421	0,1125	1,8962	1,6594	1,6153	1,5332	1,5467	1,5121
0,1188	2,0634	1,8043	1,8432	1,8374	1,7559	0,1188	1,9303	1,7149	1,6823	1,5599	1,6384	1,5448
0,125	2,0901	1,868	1,8801	1,8983	1,763	0,125	1,985	1,8162	1,7801	1,6441	1,7217	1,6256
0,1313	2,1488	1,9588	1,9804	1,977	1,7688	0,1313	2,0565	1,8725	1,8276	1,7493	1,7651	1,6743
0,1375	2,1857	2,0645	2,0688	2,0672	1,7811	0,1375	2,092	1,8939	1,8863	1,8213	1,792	1,7492
0,1438	2,1868	2,0974	2,1025	2,1088	1,7915	0,1438	2,0876	1,9298	1,902	1,845	1,8406	1,7985
0,15	2,1777	2,1305	2,1396	2,1585	1,8142	0,15	2,0926	1,9373	1,9216	1,9037	1,868	1,8601
0,1563	2,1829	2,1675	2,1747	2,1843	1,8678	0,1563	2,1083	1,939	1,9211	1,9485	1,8741	1,888
0,1625	2,1891	2,1869	2,1894	2,1964	1,9284	0,1625	2,1006	1,9513	1,9134	1,959	1,8955	1,9191
0,1688	2,1823	2,2077	2,1963	2,217	1,9798	0,1688	2,0947	1,9757	1,921	1,973	1,9199	1,9442
0,175	2,2311	2,1931	2,1919	2,1926	2,0145	0,175	2,1336	1,9636	1,9317	2,0033	1,9229	1,9616
0,1813	2,3086	2,1974	2,1975	2,1835	2,1081	0,1813	2,1956	1,959	1,9376	2,0073	1,9454	1,9806
0,1875	2,3529	2,2137	2,1973	2,1894	2,1967	0,1875	2,2274	1,964	1,9564	2,0146	2,0057	1,9988
0,1938	2,4396	2,1952	2,1733	2,1813	2,2297	0,1938	2,275	2,0291	2,0245	2,0701	2,0759	2,0603
0,2	2,5509	2,2234	2,1939	2,1906	2,2581	0,2	2,3704	2,0676	2,0655	2,1406	2,1132	2,0965
0,2063	2,6182	2,2529	2,2154	2,209	2,2808	0,2063	2,4368	2,1092	2,1031	2,1786	2,1688	2,1744
0,2125	2,7607	2,3241	2,2694	2,2585	2,2855	0,2125	2,5733	2,176	2,1154	2,2005	2,1837	2,2367
0,2188	2,8666	2,402	2,3231	2,3191	2,2766	0,2188	2,6808	2,295	2,1665	2,2646	2,2048	2,2725
0,225	2,9293	2,4367	2,3901	2,3433	2,2562	0,225	2,7279	2,3351	2,268	2,2992	2,2893	2,3733
0,2313	2,9615	2,5415	2,4358	2,408	2,2578	0,2313	2,8264	2,3598	2,3195	2,3796	2,3155	2,4826
0,2375	3,0142	2,6662	2,5144	2,5065	2,2587	0,2375	2,8935	2,4329	2,3489	2,4547	2,3785	2,481
0,2438	3,0164	2,7558	2,5238	2,5996	2,2384	0,2438	2,9124	2,4727	2,4124	2,4749	2,3933	2,4552
0,25	3,0142	2,7762	2,5256	2,6189	2,2648	0,25	2,9249	2,4159	2,4838	2,4798	2,388	2,5361
0,2563	3,0132	2,8333	2,5683	2,6176	2,281	0,2563	2,9599	2,4284	2,5242	2,5245	2,3737	2,5766
0,2625	2,9888	2,8831	2,6034	2,6612	2,3233	0,2625	2,9534	2,4486	2,5247	2,5378	2,3799	2,5599
0,2688	2,9749	2,8962	2,6067	2,6884	2,3846	0,2688	2,96	2,4934	2,5309	2,5399	2,3991	2,5252
0,275	3,0128	2,9019	2,61	2,7125	2,4621	0,275	3,0122	2,4932	2,5551	2,5538	2,38	2,5387
0,2813	3,0844	2,919	2,6331	2,7351	2,5138	0,2813	3,0651	2,513	2,5517	2,5417	2,4209	2,5362
0,2875	3,1857	2,9286	2,6313	2,7478	2,6208	0,2875	3,1167	2,5436	2,5364	2,5271	2,4582	2,5167
0,2938	3,2288	2,9111	2,6329	2,7454	2,6634	0,2938	3,1482	2,6218	2,5929	2,5502	2,5303	2,5578
0,3	3,3336	2,921	2,6979	2,7676	2,6713	0,3	3,2311	2,6975	2,6601	2,5998	2,595	2,6209
0,3063	3,4823	2,9322	2,7316	2,8218	2,7167	0,3063	3,3086	2,727	2,696	2,6632	2,6248	2,6553
0,3125	3,5419	2,9496	2,7562	2,8348	2,7642	0,3125	3,3371	2,7989	2,7547	2,6874	2,7134	2,7052
0,3188	3,5842	2,9963	2,808	2,8771	2,7731	0,3188	3,3694	2,8881	2,8329	2,7551	2,813	2,7621
0,325	3,6266	3,0507	2,8906	2,9074	2,7824	0,325	3,3848	2,961	2,8827	2,8632	2,8581	2,7842
0,3313	3,6781	3,0957	2,9457	2,9445	2,805	0,3313	3,3946	2,9866	2,9804	2,9182	2,9306	2,8855
0,3375	3,6882	3,1804	3,0429	3,0369	2,8043	0,3375	3,3954	3,0309	3,0498	3,0199	3,0013	2,9768

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg	x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,3438	3,6723	3,2608	3,1116	3,1113	2,8011	0,3438	3,3504	3,1105	3,083	3,0828	3,0503	3,0051
0,35	3,6575	3,3426	3,1973	3,1559	2,8559	0,35	3,3145	3,1432	3,128	3,1276	3,0615	3,0806
0,3563	3,6572	3,3918	3,2476	3,2053	2,9273	0,3563	3,3011	3,1007	3,1672	3,1573	3,0347	3,1326
0,3625	3,6468	3,4611	3,3341	3,3154	2,9564	0,3625	3,2703	3,055	3,1445	3,1526	3,0191	3,1173
0,3688	3,6392	3,4948	3,3656	3,3845	2,9682	0,3688	3,2601	3,0494	3,1299	3,1244	3,0107	3,1021
0,375	3,6588	3,5005	3,3711	3,396	3,0096	0,375	3,2699	3,012	3,1119	3,1154	2,9624	3,0789
0,3813	3,7104	3,5275	3,4038	3,4233	3,1076	0,3813	3,2765	2,9876	3,0724	3,091	2,9432	3,0405
0,3875	3,7742	3,5607	3,4122	3,4627	3,1606	0,3875	3,2782	3,0021	3,0569	3,0462	2,9603	3,0146
0,3938	3,7875	3,5484	3,4159	3,4636	3,2461	0,3938	3,2795	3,0106	3,0523	3,0399	2,9645	3,0038
0,4	3,8048	3,5626	3,45	3,4622	3,3099	0,4	3,2806	3,0194	3,0655	3,0521	2,9644	3,012
0,4063	3,8918	3,6349	3,5199	3,5353	3,3543	0,4063	3,2345	3,0352	3,0713	3,0717	2,9618	3,0206
0,4125	3,9659	3,7075	3,5886	3,6074	3,4412	0,4125	3,285	3,0636	3,0789	3,0766	2,9606	3,0317
0,4188	3,9773	3,7371	3,6141	3,6403	3,4797	0,4188	3,318	3,0765	3,0886	3,0751	2,9534	3,0163
0,425	3,9757	3,7566	3,6608	3,6737	3,4913	0,425	3,4055	3,0448	3,0701	3,0581	2,9879	2,9946
0,4313	3,9816	3,7832	3,6994	3,7016	3,5256	0,4313	3,4975	3,0663	3,078	3,0729	3,0048	3,0102
0,4375	3,9562	3,8088	3,7198	3,7201	3,5385	0,4375	3,5276	3,0891	3,1202	3,0992	3,046	3,055
0,4438	3,9234	3,8549	3,7525	3,7694	3,5393	0,4438	3,5458	3,1246	3,1532	3,1357	3,0601	3,087
0,45	3,8674	3,8426	3,7638	3,7817	3,5687	0,45	3,5659	3,1176	3,1659	3,1678	3,045	3,1098
0,4563	3,8176	3,8477	3,7816	3,762	3,638	0,4563	3,5929	3,1131	3,1686	3,1624	3,0371	3,1263
0,4625	3,7807	3,8598	3,778	3,7673	3,6998	0,4625	3,5926	3,1301	3,1523	3,1516	3,0636	3,1152
0,4688	3,6912	3,8294	3,7358	3,7588	3,718	0,4688	3,6323	3,1611	3,1721	3,1534	3,0999	3,1361
0,475	3,6664	3,7703	3,6835	3,7135	3,7454	0,475	3,7223	3,1674	3,1888	3,1935	3,1011	3,155
0,4813	3,6705	3,7467	3,6636	3,6912	3,7619	0,4813	3,7753	3,1883	3,2097	3,2122	3,1561	3,1806
0,4875	3,7294	3,7007	3,6242	3,6548	3,783	0,4875	3,8961	3,2712	3,252	3,2345	3,2633	3,2166
0,4938	3,7725	3,6254	3,5645	3,5869	3,7978	0,4938	4,0077	3,3881	3,2939	3,3208	3,3838	3,2589
0,5	3,8824	3,6082	3,5651	3,5595	3,8032	0,5	4,1538	3,4534	3,4065	3,3775	3,4437	3,3674
0,5063	3,9597	3,5992	3,5747	3,5575	3,828	0,5063	4,235	3,5615	3,5306	3,5015	3,5635	3,491
0,5125	4,1018	3,6256	3,6104	3,5821	3,8284	0,5125	4,3692	3,691	3,5817	3,6154	3,7173	3,5479
0,5188	4,2041	3,677	3,6355	3,6131	3,7943	0,5188	4,4297	3,7678	3,698	3,7427	3,7938	3,6664
0,525	4,2517	3,6967	3,6542	3,6245	3,7489	0,525	4,3832	3,9175	3,8471	3,8123	3,9228	3,8108
0,5313	4,3659	3,7879	3,7541	3,6639	3,7282	0,5313	4,3357	4,0244	3,9792	3,9538	4,0247	3,9546
0,5375	4,4581	3,9312	3,8687	3,7806	3,6861	0,5375	4,3317	4,071	4,0362	4,0812	4,0508	4,0162
0,5438	4,4767	3,9977	3,9167	3,846	3,6256	0,5438	4,3173	4,1285	4,0806	4,1334	4,005	4,1195
0,55	4,4844	4,1017	3,9818	3,9543	3,6218	0,55	4,2816	4,0329	4,0292	4,1463	3,9853	4,2163
0,5563	4,5254	4,2157	4,067	4,0541	3,6312	0,5563	4,3124	3,9786	4,0355	4,1191	3,9574	4,1877
0,5625	4,5433	4,2698	4,141	4,1664	3,6611	0,5625	4,3393	3,9851	4,0575	4,0827	3,9443	4,1151
0,5688	4,5562	4,3521	4,1599	4,2075	3,6687	0,5688	4,3696	4,0282	4,0833	4,0652	3,9616	4,0776
0,575	4,6436	4,3706	4,1895	4,237	3,6859	0,575	4,4727	4,0253	4,12	4,058	3,9705	4,0652
0,5813	4,7512	4,4009	4,2308	4,265	3,7773	0,5813	4,5846	4,0379	4,1148	4,0702	4,0044	4,0534
0,5875	4,8144	4,4208	4,2518	4,2826	3,9069	0,5875	4,6339	4,1011	4,1185	4,0867	4,1072	4,0756
0,5938	4,9306	4,4357	4,2648	4,3069	4,0139	0,5938	4,7094	4,1909	4,2055	4,1803	4,2246	4,1631
0,6	5,0482	4,506	4,3376	4,3619	4,0615	0,6	4,8372	4,2976	4,2592	4,2913	4,3183	4,2209
0,6063	5,1909	4,559	4,4359	4,4076	4,1767	0,6063	4,9716	4,3319	4,353	4,3446	4,3612	4,3369

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg	x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,6125	5,2666	4,6708	4,4909	4,5157	4,2595	0,6125	5,0321	4,4326	4,4207	4,4309	4,4921	4,4157
0,6188	5,3162	4,7934	4,6004	4,6224	4,2801	0,6188	5,1254	4,5742	4,473	4,5431	4,6217	4,4665
0,625	5,2043	4,8989	4,7123	4,7221	4,3035	0,625	5,2271	4,6409	4,6088	4,6857	4,6752	4,6015
0,6313	5,1826	4,9634	4,7884	4,7818	4,3493	0,6313	5,274	4,7354	4,729	4,7481	4,7647	4,7359
0,6375	5,1603	5,1052	4,9536	4,9335	4,3719	0,6375	5,3436	4,819	4,8187	4,8465	4,8619	4,8345
0,6438	5,1399	5,1851	5,0814	5,0267	4,3904	0,6438	5,3709	4,8632	4,8651	4,9379	4,9038	4,874
0,65	5,1231		5,0547	4,9786	4,4721	0,65	5,3879	4,9329	4,9563	4,984	4,9636	4,9702
0,6563	5,1194		4,9661	4,9095	4,5767	0,6563	5,4282	4,9634	5,0249		4,9925	5,042
0,6625	5,1178		4,9266	4,9023	4,6306	0,6625	5,4422	4,9937	5,0375			5,0606
0,6688	5,1497		4,8822	4,9046	4,7309	0,6688	5,4865	5,0131	5,0573			5,1005
0,675	5,1937		4,8782	4,9005	4,8379	0,675	5,5318	4,9969	5,0976			
0,6813	5,2989		4,9271	4,911	4,9088	0,6813	5,632	5,0017	5,1189			
0,6875	5,4283		4,9632	4,9547	5,0577	0,6875	5,7262	5,0264	5,1391			
0,6938	5,4846		4,9605	4,9569	5,1465	0,6938	5,7738	5,0909	5,2104			
0,7	5,6154		5,0316	4,9704	5,05	0,7	5,9082	5,1751	5,3092			
0,7063	5,7751		5,1368	5,0541	5,0202	0,7063	6,0715	5,2808	5,3645			
0,7125	5,9147		5,2335	5,1039	4,9898	0,7125	6,2201	5,3492	5,4722			
0,7188	5,9715		5,2736	5,2119	4,9584	0,7188	6,2785	5,5008	5,6133			
0,725	6,0957		5,3818	5,3245	4,9588	0,725	6,4035	5,6496	5,6968			
0,7313	6,2236		5,5274	5,4622	4,9918	0,7313	6,5187	5,7085	5,8653			
0,7375	6,2752		5,6081	5,5304	5,0066	0,7375	6,5635	5,8242	5,9961			
0,7438	6,3283		5,7493	5,6511	5,0039	0,7438	6,6088	5,9374	6,1203			
0,75	6,3677		5,8357	5,7597	5,0622	0,75	6,66	5,982	6,1794			
0,7563	6,4159		5,8877	5,8274	5,1564	0,7563	6,6903	6,0316				
0,7625	6,4244		5,9748	5,9581	5,2409	0,7625	6,7143	6,0787				
0,7688	6,4528			6,0487	5,2717	0,7688	6,7627	6,1336				
0,775	6,5562			6,0888	5,3845	0,775	6,8614	6,1414				
0,7813	6,6156				5,5438	0,7813	6,9196	6,1783				
0,7875	6,7479				5,6287	0,7875	7,0376	6,2728				
0,7938	6,8666				5,7814	0,7938	7,1548	6,3249				
0,8	6,9391				5,9028	0,8	7,2304	6,4368				
0,8063	7,1178				6,0285	0,8063	7,3963	6,5434				
0,8125	7,2943				6,077	0,8125	7,554	6,6925				
0,8188	7,4241					0,8188	7,6153	6,7723				
0,825	7,4881					0,825	7,7344	6,9249				
0,8313	7,6207					0,8313	7,8477	7,0412				
0,8375	7,7172					0,8375	7,9238	7,1001				
0,8438	7,7382					0,8438	7,9421					
0,85	7,778					0,85	7,9818					
0,8563	7,8392					0,8563	8,0281					
0,8625	7,8549					0,8625	8,0277					

x (mm)	Vazio	5kg	6kg	6kg	6kg
0,8688	7,8762				
0,875	7,9812				
0,8813	8,1087				
0,8875	8,1803				
0,8938	8,308				
0,9	8,4753				
0,9063	8,5704				
0,9125	8,7533				
0,9188	8,8952				
0,925	9,0286				
0,9313	9,0945				
0,9375	9,1923				
0,9438	9,2329				
0,95	9,2542				
0,9563	9,3092				
0,9625	9,3252				
0,9688	9,3682				
0,975	9,4224				
0,9813	9,5522				
0,9875	9,7028				
0,9938	9,766				
1	9,9255				
1,0063	10,116				
1,0125	10,211				
1,0188	10,37				
1,025	10,5				

x (mm)	Vazio	7kg	6kg	5kg	5kg	5kg
0,8688	8,0542					
0,875	8,151					
0,8813	8,2658					
0,8875	8,3274					
0,8938	8,4398					
0,9	8,5925					
0,9063	8,6753					
0,9125	8,8358					
0,9188	8,9576					
0,925	9,0182					
0,9313	9,1355					
0,9375	9,2145					
0,9438	9,2451					
0,95	9,264					
0,9563	9,3111					
0,9625	9,3143					
0,9688	9,3357					
0,975	9,4327					
0,9813	9,5467					
0,9875	9,6634					
0,9938	9,7215					
1	9,8716					
1,0063	10,039					
1,0125	10,12					
1,0188	10,25					

30mm Massa - 3º ensaio

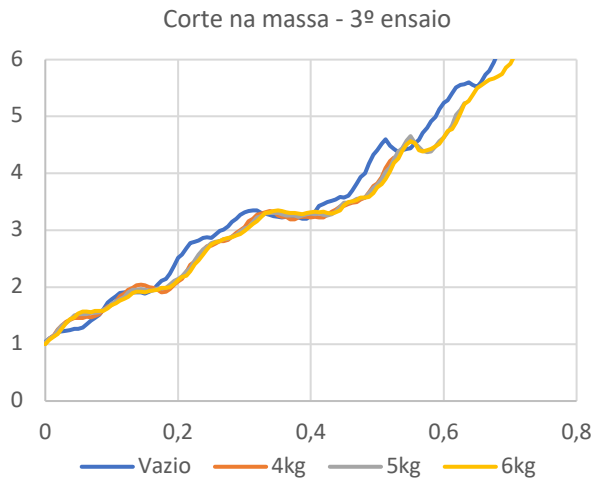


Figura 90 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_Massa_3º ensaio

30mm S - 1º ensaio

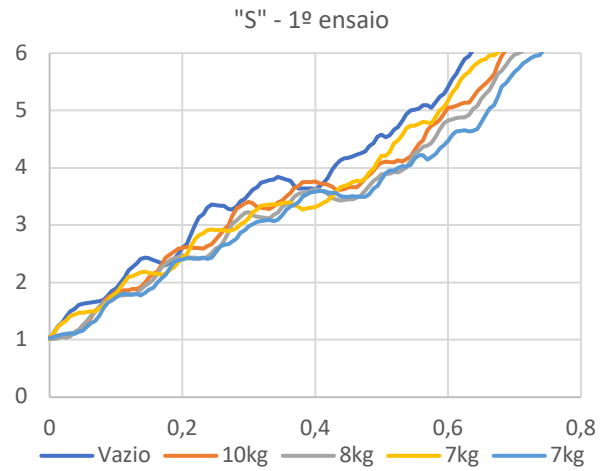


Figura 91 - Gráfico força - deslocamento - 30mm_S_2º ensaio

x (mm)	3º ensaio			
	Força Máxima/ F(kg)			
	D	D	S	
	Vazio	4kg	5kg	6kg
0	1,0423	1,0044	1,0304	1,0011
0,00625	1,103	1,1003	1,1035	1,0742
0,0125	1,1421	1,1533	1,1478	1,1333
0,01875	1,2083	1,2517	1,2491	1,1739
0,025	1,2242	1,3231	1,3291	1,2709
0,03125	1,2351	1,3948	1,3684	1,3706
0,0375	1,2497	1,4273	1,4316	1,4399
0,04375	1,2681	1,4634	1,5068	1,4727
0,05	1,2689	1,4589	1,531	1,5367
0,05625	1,2892	1,4609	1,5317	1,5705
0,0625	1,3482	1,479	1,5294	1,5668
0,06875	1,4184	1,4747	1,5515	1,5623
0,075	1,4567	1,4966	1,5505	1,5835
0,08125	1,5179	1,5268	1,5559	1,5859
0,0875	1,6097	1,5941	1,6074	1,5874
0,09375	1,7263	1,6629	1,6389	1,6295
0,1	1,7822	1,6903	1,7032	1,6883
0,10625	1,8448	1,7562	1,7472	1,7199
0,1125	1,8969	1,841	1,7879	1,76

x (mm)	1º ensaio					
	Força Máxima/ F(kg)					
	S	S	D	D	NC	
	Vazio	10kg	8kg	7kg	7kg	
0	1,0148	1,0495	1,0157	1,0156	1,027	1,0738
0,00625	1,1112	1,0713	1,0146	1,1207	1,0441	1,1066
0,0125	1,2343	1,0704	1,0242	1,2316	1,0757	1,1332
0,01875	1,2982	1,0884	1,046	1,2786	1,0988	1,1919
0,025	1,4056	1,083	1,0421	1,3439	1,1053	1,2187
0,03125	1,4964	1,0842	1,064	1,4173	1,111	1,2421
0,0375	1,5422	1,1248	1,1344	1,4455	1,1008	1,2539
0,04375	1,6083	1,1723	1,1739	1,4744	1,137	1,2724
0,05	1,6248	1,2148	1,258	1,4694	1,1648	1,2827
0,05625	1,6408	1,2914	1,3287	1,4886	1,2307	1,2803
0,0625	1,6511	1,3925	1,4281	1,5012	1,2922	1,3229
0,06875	1,6593	1,5105	1,4849	1,5001	1,3256	1,3507
0,075	1,6717	1,5693	1,5869	1,5526	1,4291	1,4328
0,08125	1,6937	1,665	1,6563	1,5904	1,5494	1,4987
0,0875	1,7707	1,7374	1,6871	1,6813	1,6524	1,5935
0,09375	1,8572	1,775	1,7497	1,7691	1,6807	1,6559
0,1	1,8933	1,8397	1,7801	1,8099	1,7465	1,7692
0,10625	1,9865	1,8549	1,7745	1,9039	1,7903	1,8606
0,1125	2,0921	1,8625	1,775	2,0136	1,8032	1,8846

x (mm)	Vazio	4kg	5kg	6kg
0,11875	1,914	1,8873	1,8265	1,8006
0,125	1,9226	1,9541	1,9104	1,8319
0,13125	1,9051	1,9921	1,9581	1,9004
0,1375	1,907	2,035	1,9594	1,9218
0,14375	1,9055	2,0489	1,9668	1,9206
0,15	1,8888	2,0335	1,9564	1,9112
0,15625	1,9261	1,9993	1,9388	1,9269
0,1625	1,9569	1,9882	1,9395	1,9409
0,16875	2,0441	1,9593	1,9741	1,9511
0,175	2,1167	1,9137	1,9772	1,9853
0,18125	2,1432	1,9235	1,9862	1,9923
0,1875	2,2313	1,9654	2,0417	2,0035
0,19375	2,3839	2,0467	2,1132	2,0609
0,2	2,522	2,1057	2,1453	2,1279
0,20625	2,571	2,1496	2,1905	2,1838
0,2125	2,6824	2,2755	2,2782	2,2058
0,21875	2,7755	2,398	2,3405	2,2813
0,225	2,7996	2,4464	2,4699	2,4032
0,23125	2,8198	2,5395	2,5734	2,4677
0,2375	2,8634	2,6519	2,6618	2,5719
0,24375	2,8756	2,7241	2,7085	2,667
0,25	2,8712	2,7352	2,7801	2,758
0,25625	2,9274	2,7665	2,8032	2,7904
0,2625	2,9861	2,8082	2,8121	2,8149
0,26875	3,0111	2,8075	2,8473	2,8424
0,275	3,0694	2,8278	2,8592	2,8676
0,28125	3,1521	2,8925	2,8868	2,8788
0,2875	3,1992	2,955	2,9248	2,9076
0,29375	3,2718	2,9972	2,9824	2,937
0,3	3,317	3,0569	3,0303	2,9919
0,30625	3,3375	3,1538	3,0625	3,0452
0,3125	3,3458	3,2014	3,1448	3,1156
0,31875	3,3458	3,2662	3,2218	3,1598
0,325	3,3105	3,2975	3,2517	3,2403
0,33125	3,2934	3,3191	3,2934	3,3001
0,3375	3,2669	3,344	3,3034	3,3208
0,34375	3,2534	3,3226	3,3098	3,3424
0,35	3,235	3,262	3,3066	3,346
0,35625	3,2309	3,2418	3,2842	3,3379
0,3625	3,2395	3,2343	3,2639	3,3181
0,36875	3,2289	3,1974	3,2649	3,3062
0,375	3,2227	3,1899	3,2576	3,3066
0,38125	3,2243	3,2211	3,2417	3,2964

x (mm)	Vazio	10kg	8kg	7kg	7kg	7kg
0,11875	2,2076	1,8699	1,8014	2,0943	1,79	1,9512
0,125	2,2611	1,8869	1,7991	2,1098	1,7896	2,0077
0,13125	2,3378	1,8871	1,8134	2,1482	1,7938	2,0194
0,1375	2,4098	1,919	1,8717	2,1822	1,7781	2,0018
0,14375	2,4295	1,996	1,9458	2,1893	1,8142	2,0033
0,15	2,4209	2,0872	1,9913	2,1639	1,8727	2,0129
0,15625	2,3894	2,1536	2,0528	2,1565	1,9091	2,0044
0,1625	2,3659	2,193	2,144	2,1531	1,9964	2,0315
0,16875	2,3335	2,3055	2,263	2,1337	2,0782	2,0733
0,175	2,3036	2,4361	2,3167	2,1543	2,1293	2,0999
0,18125	2,3588	2,4878	2,3884	2,2202	2,2505	2,1561
0,1875	2,3988	2,5344	2,4263	2,2636	2,3592	2,2165
0,19375	2,5056	2,5859	2,4487	2,3524	2,3866	2,3271
0,2	2,6025	2,604	2,4734	2,4324	2,3953	2,3899
0,20625	2,665	2,6277	2,447	2,4895	2,4206	2,4877
0,2125	2,8244	2,6144	2,4291	2,6254	2,4244	2,5432
0,21875	2,9992	2,6048	2,4324	2,7583	2,4146	2,5805
0,225	3,1348	2,6019	2,414	2,8241	2,4234	2,6409
0,23125	3,1926	2,5883	2,425	2,8586	2,4317	2,658
0,2375	3,3041	2,6322	2,4488	2,9166	2,4096	2,6552
0,24375	3,358	2,6642	2,5171	2,9256	2,4378	2,6628
0,25	3,3542	2,7474	2,591	2,9138	2,5216	2,6686
0,25625	3,343	2,8361	2,6273	2,9161	2,622	2,6453
0,2625	3,3419	2,9291	2,7208	2,9164	2,6541	2,6648
0,26875	3,2863	2,9896	2,8652	2,8929	2,6695	2,7251
0,275	3,2742	3,1584	3,0221	2,9094	2,7114	2,7984
0,28125	3,331	3,2911	3,0761	2,9527	2,7661	2,84
0,2875	3,4156	3,3221	3,1515	3,0181	2,8722	2,9367
0,29375	3,4649	3,3868	3,2132	3,0558	2,9143	3,0819
0,3	3,5387	3,402	3,2216	3,1241	2,9765	3,2395
0,30625	3,6165	3,3793	3,1759	3,2237	3,0111	3,3127
0,3125	3,6591	3,3146	3,1435	3,2704	3,0555	3,393
0,31875	3,7394	3,3013	3,1389	3,3396	3,0674	3,4217
0,325	3,7654	3,2915	3,1219	3,3471	3,0769	3,4148
0,33125	3,7809	3,2801	3,1203	3,3589	3,0941	3,4064
0,3375	3,7986	3,3244	3,1806	3,3637	3,0753	3,3779
0,34375	3,8388	3,3935	3,2195	3,3575	3,0936	3,373
0,35	3,8171	3,4317	3,3108	3,3811	3,1687	3,3657
0,35625	3,7987	3,4931	3,3627	3,392	3,2585	3,3278
0,3625	3,7698	3,5574	3,4015	3,3914	3,323	3,3585
0,36875	3,686	3,6454	3,4925	3,3444	3,3448	3,3897
0,375	3,6422	3,6896	3,5491	3,3104	3,4068	3,4597
0,38125	3,6422	3,7469	3,5593	3,2737	3,4978	3,5457

x (mm)	Vazio	4kg	5kg	6kg
0,3875	3,2028	3,2423	3,2658	3,2865
0,39375	3,2009	3,2411	3,2804	3,306
0,4	3,256	3,2296	3,2932	3,3187
0,40625	3,3273	3,2334	3,283	3,3256
0,4125	3,4276	3,2234	3,2905	3,3181
0,41875	3,4665	3,2309	3,2718	3,3228
0,425	3,4959	3,2692	3,2655	3,3057
0,43125	3,521	3,3248	3,2791	3,2971
0,4375	3,5463	3,3627	3,3299	3,3217
0,44375	3,5856	3,4154	3,4216	3,3541
0,45	3,5772	3,4269	3,4811	3,4416
0,45625	3,6037	3,4596	3,488	3,4957
0,4625	3,6999	3,4867	3,5097	3,5045
0,46875	3,8203	3,4989	3,5563	3,5275
0,475	3,933	3,5365	3,5671	3,5716
0,48125	4,0019	3,5735	3,5783	3,5742
0,4875	4,1675	3,6643	3,6494	3,591
0,49375	4,3274	3,7744	3,7487	3,6567
0,5	4,4068	3,8198	3,8032	3,7536
0,50625	4,523	3,9396	3,8988	3,8086
0,5125	4,5969	4,0899	4,03	3,9054
0,51875	4,485	4,22	4,1042	4,0341
0,525	4,4327	4,2781	4,2547	4,188
0,53125	4,3788		4,3906	4,2607
0,5375	4,4051		4,4455	4,3937
0,54375	4,4282		4,5729	4,5133
0,55	4,4415		4,6525	4,5701
0,55625	4,5266		4,5329	4,5324
0,5625	4,5865		4,4626	4,4091
0,56875	4,7067		4,3992	4,3842
0,575	4,8052		4,3688	4,4102
0,58125	4,9147		4,3848	4,426
0,5875	4,9915		4,4732	4,4736
0,59375	5,1337		4,5711	4,5205
0,6	5,2419		4,6314	4,6306
0,60625	5,2911		4,7245	4,7424
0,6125	5,4121		4,848	4,7802
0,61875	5,5141		5,0246	4,8923
0,625	5,5565		5,1117	5,0563
0,63125	5,5721		5,2352	5,2165
0,6375	5,6026			5,2725

x (mm)	Vazio	10kg	8kg	7kg	7kg	7kg
0,3875	3,6406	3,7517	3,5649	3,2919	3,5407	3,5559
0,39375	3,6377	3,7547	3,6021	3,3068	3,5722	3,5894
0,4	3,6323	3,7669	3,6257	3,3147	3,582	3,698
0,40625	3,6679	3,7294	3,6204	3,3485	3,5972	3,7637
0,4125	3,7455	3,7122	3,584	3,399	3,5991	3,7689
0,41875	3,8147	3,704	3,5449	3,4252	3,5735	3,7859
0,425	3,9613	3,6742	3,4717	3,4894	3,5614	3,8025
0,43125	4,0477	3,6207	3,4454	3,5834	3,5558	3,8009
0,4375	4,1265	3,6177	3,4247	3,6628	3,507	3,7733
0,44375	4,1613	3,6262	3,4435	3,6796	3,4936	3,7618
0,45	4,1785	3,658	3,4497	3,7025	3,4985	3,7555
0,45625	4,2028	3,66	3,4525	3,7472	3,5072	3,6943
0,4625	4,2283	3,6632	3,4819	3,7687	3,4978	3,6747
0,46875	4,256	3,7328	3,516	3,7634	3,494	3,6857
0,475	4,2823	3,8197	3,603	3,8183	3,4998	3,6887
0,48125	4,3756	3,8698	3,687	3,9211	3,5435	3,6818
0,4875	4,428	3,9527	3,7779	3,9851	3,6345	3,6666
0,49375	4,5467	4,0435	3,8222	4,1137	3,6834	3,6788
0,5	4,5746	4,0822	3,8902	4,2093	3,7937	3,7517
0,50625	4,5346	4,1056	3,8926	4,2086	3,9027	3,8649
0,5125	4,5669	4,0934	3,8969	4,2722	3,9485	3,9709
0,51875	4,6633	4,1004	3,9282	4,4302	3,9561	4,0297
0,525	4,7116	4,1268	3,9217	4,4791	3,9918	4,1309
0,53125	4,8275	4,1052	3,9648	4,5816	4,0269	4,1685
0,5375	4,9356	4,151	4,011	4,6862	4,0157	4,1713
0,54375	5,0025	4,1932	4,1271	4,7311	4,055	4,2086
0,55	5,0096	4,3093	4,2546	4,739	4,1594	4,2552
0,55625	5,039	4,4191	4,3021	4,7701	4,2161	4,2559
0,5625	5,0907	4,4796	4,3701	4,8053	4,2189	4,317
0,56875	5,0857	4,656	4,3827	4,7937	4,1384	4,4238
0,575	5,0436	4,7342	4,4279	4,7816	4,1893	4,3798
0,58125	5,1427	4,7809	4,5475	4,8883	4,2385	4,3395
0,5875	5,233	4,832	4,6663	4,9998	4,328	4,3282
0,59375	5,2875	4,9505	4,7813	5,0527	4,4025	4,4142
0,6	5,4057	5,0421	4,8269	5,1646	4,4688	4,4684
0,60625	5,5533	5,0627	4,8504	5,3143	4,5755	4,589
0,6125	5,6363	5,0794	4,8686	5,3946	4,6331	4,7165
0,61875	5,7872	5,1135	4,8833	5,5401	4,6472	4,8317
0,625	5,896	5,1302	4,8774	5,6201	4,6533	4,8816
0,63125	5,945	5,1339	4,918	5,6665	4,6287	4,9338
0,6375	6,0513	5,2241	5,0229	5,7607	4,6417	4,9485

x (mm)	Vazio	4kg	5kg	6kg
0,64375	5,5574			5,3803
0,65	5,5238			5,4966
0,65625	5,6063			5,5416
0,6625	5,7364			5,596
0,66875	5,8089			5,6448
0,675	5,9516			5,6732
0,68125	6,1034			5,7027
0,6875	6,2953			5,7514
0,69375	6,3846			5,8645
0,7	6,5354			5,9273
0,70625	6,6535			6,0592
0,7125	6,7191			6,1797
0,71875	6,8267			6,2597
0,725	6,8807			
0,73125	6,9033			
0,7375	6,952			
0,74375	6,9897			
0,75	7,016			
0,75625	7,0655			
0,7625	7,1818			
0,76875	7,3172			
0,775	7,3783			
0,78125	7,5149			
0,7875	7,7006			
0,79375	7,8822			
0,8	7,9624			
0,80625	8,0879			
0,8125	8,2263			
0,81875	8,2837			
0,825	8,3542			
0,83125	8,3983			
0,8375	8,4256			
0,84375	8,4709			
0,85	8,4826			
0,85625	8,5828			
0,8625	8,644			
0,86875	8,7879			
0,875	8,9224			
0,88125	8,9982			
0,8875	9,184			
0,89375	9,3758			
0,9	9,5263			
0,90625	9,5905			

x (mm)	Vazio	10kg	8kg	7kg	7kg	7kg
0,64375	6,1481	5,3413	5,0828	5,8252	4,68	4,9665
0,65	6,206	5,3986	5,2012	5,8684	4,7943	4,9971
0,65625	6,2283	5,4651	5,2908	5,8989	4,9253	4,9839
0,6625	6,2878	5,5336	5,3551	5,9591	5,0386	5,0111
0,66875	6,3064	5,6281	5,5041	5,9665	5,0872	5,1034
0,675	6,3241	5,8074	5,6434	6,0062	5,2369	5,1989
0,68125	6,4398	5,9486	5,6945	6,1351	5,4102	5,2867
0,6875	6,5807	6,0635	5,7915	6,2877	5,4845	5,34
0,69375	6,7263	6,1291	5,8986	6,4295	5,5682	5,5039
0,7	6,7855	6,246	5,9768	6,509	5,6758	5,6691
0,70625	6,9507	6,2933	5,9949	6,7061	5,7318	5,7359
0,7125	7,1556	6,3092	6,0403	6,9149	5,8176	5,8429
0,71875	7,2573	6,3629	6,1036	7,0125	5,8613	5,963
0,725	7,4207	6,4051	6,1104	7,1658	5,9181	6,0678
0,73125	7,5697	6,411	6,152		5,9468	6,1011
0,7375	7,7169	6,5133	6,2751		5,9601	6,1462
0,74375	7,7677	6,647	6,4213		6,049	6,203
0,75	7,8284	6,7941	6,497		6,1114	6,231
0,75625	7,8978	6,8619	6,635		6,2545	6,2437
0,7625	7,9366	7,0318	6,829		6,4019	6,3412
0,76875	7,98	7,2429	6,9338		6,5651	6,4075
0,775	8,0387	7,351	7,1405		6,6646	6,5526
0,78125	8,1039	7,5448	7,3046		6,8771	6,6983
0,7875	8,2574	7,6967	7,3859		7,0706	6,8675
0,79375	8,4175	7,8555	7,5423		7,1469	6,9708
0,8	8,5673	7,9203	7,6424		7,3157	7,1877
0,80625	8,6583	7,9975	7,6948			
0,8125	8,8666	8,0496	7,7284			
0,81875	9,0692	8,0826	7,7943			
0,825	9,1535	8,1378	7,8146			
0,83125	9,3141	8,1712	7,8494			
0,8375	9,4697	8,2293				
0,84375	9,5683	8,3766				
0,85	9,5866	8,5496				
0,85625	9,6338	8,7014				
0,8625	9,6962	8,7925				
0,86875	9,706	9,01				
0,875	9,7311	9,2158				
0,88125	9,8601	9,3073				
0,8875	9,9386	9,4493				
0,89375	10,1065	9,6055				

x (mm)	Vazio	4kg	5kg	6kg
0,9125	9,7307			
0,91875	9,8301			
0,925	9,8557			
0,93125	9,89			
0,9375	9,9382			
0,94375	9,9586			
0,95	9,955			
0,95625	9,3111			
0,9625	9,3143			
0,96875	9,3357			
0,975	9,4327			
0,98125	9,5467			
0,9875	9,6634			
0,99375	9,7215			
1	9,8716			
1,00625	10,0393			
1,0125	10,12			
1,01875	10,2501			