



DESENVOLVIMENTO DE UMA MATRIZ DE CORTE POR ESTAMPAGEM PARA PERFIL COMPLEXO

Gabriel Felisbino¹

Alexandre Milanez²

Guilherme Roos Ribeiro³

Anderson Daleffe⁴

Daniel Fritzen⁵

Resumo: A construção de matrizes é um ramo crescente dentro da engenharia. Esses ferramentais estão presentes em diversos segmentos da fabricação mecânica, principalmente da estampagem de chapas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como propósito desenvolver uma matriz de estampagem para chapas de aço SAE 1020 desde o projeto até a fabricação, dispondo como produto final a fabricação de abridores de garrafas, equipando o Laboratório de Conformação Mecânica e Processamento de Polímeros (LACOMP) da Faculdade SATC, com uma matriz auxiliando as aulas práticas ministradas no local. O ferramental foi modelado pelo software CAD 3D SolidWorks® e os componentes projetados foram importados para o software EdgeCAM com o intuito de gerar os códigos de usinagem. Os punções e matrizes de corte foram tratados termicamente com têmpera e duplo revenimento. Os resultados finais mostram que um bom projeto alcança níveis satisfatórios e que há dificuldade em encontrar estudos direcionados ao dimensionamento de molas para prensa chapas.

Palavras-chave: Estampagem. Matriz. Conformação. Estampos.

1 INTRODUÇÃO

A engenharia mecânica é dividida em algumas subáreas de atuação, uma delas é a área de fabricação mecânica, em que o processo de estampagem é estudado. Essa técnica resume-se a operações executadas em matéria-prima no formato de chapas para obter, ao final do processo, o produto acabado em termos de forma e dimensões, essas operações são executadas por meio de matrizes, projetadas e fabricadas visando a produção da peça final.

¹ Graduado em Engenharia Mecânica, UniSATC. E-mail: felisbinogabriel@hotmail.com

² Prof. UniSATC. E-mail: alexandrermilanez@satc.edu.br

³ Graduado em Engenharia Mecânica, UniSATC. E-mail: doguiroos8@hotmail.com

⁴ Prof. UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

⁵ Prof. UniSATC. E-mail: daniel.fritzen@satc.edu.br



O desenvolvimento de matrizes, independente do procedimento a ser executado, sempre será algo de grande relevância para indústria, além de ser acompanhada de uma dificuldade considerável. Se faz necessário a definição de todos os aspectos de um ferramental, sendo esses o dimensionamento material de fabricação, esforços atuantes e estratégia de fabricação dos componentes.

O processo de corte de chapas é derivado da estampagem e executado por matrizes. A força de corte imprimida pela prensa e transferida ao punção age sobre a chapa, obrigando-a a passar pela matriz de corte, gerando o produto final com as características definidas no projeto. Alguns parâmetros são de suma importância para a funcionalidade dessa técnica, como as folgas entre punção e matriz, forças atuantes, materiais de construção e as geometrias definidas.

O Laboratório de Conformação Mecânica (LACOMP), ambiente destinado ao uso didático e prestação de serviços da SATC, não conta com matrizes de estampagem dentre suas ferramentas, um processo importante dentro da indústria e que é estudado de forma teórica durante a disciplina de Tecnologia de Conformação.

Visando potencializar os estudos dentro dessa área na instituição, pretende-se com esse trabalho demonstrar na prática os parâmetros apresentados em teoria, gerando como resultado final do processo, uma peça em formato de abridor de garrafas para que o procedimento seja entendido desde uma chapa simples até uma geometria conhecida e comercial. Além do processo de corte, os estudos são estendidos a construção dos elementos de matrizes apresentados na disciplina de tecnologia de conformação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A industrialização teve seu início por volta de 1890, moldando o setor dominante de uma economia, mediante a substituição de instrumentos, técnicas e processos de produção. Um movimento histórico recente e mais eficiente se comparado a épocas primitivas em que uma determinada forma de trabalho podia durar muitos anos sem aperfeiçoamento.

Como consequência desse período, surgiram as primeiras fábricas, trazendo desenvolvimento às indústrias e intensificando a utilização de novos materiais e processos de fabricação. Técnicas criadas e utilizadas para fabricação de



produtos vêm sofrendo aprimoramento com o tempo e continuam possuindo grande importância no cenário da indústria atual, como por exemplo, usinagem, fundição e conformação (BLASS, 1985).

2.1 CONFORMAÇÃO MECÂNICA

Entende-se como conformação dos metais a modificação de um corpo metálico para outra forma definida. Os processos de conformação podem ser divididos em dois grupos: processos mecânicos, nos quais as modificações de forma são provocadas pela aplicação de tensões externas, e processos metalúrgicos, nos quais as modificações de forma estão relacionadas com alta temperatura (Daleffe, 2008).

Segundo Da Rocha (2012), os processos mecânicos são constituídos pelos processos de conformação mássica, para os quais as tensões aplicadas são geralmente inferiores ao limite de resistência à tração, e pelos processos de conformação por chapa, para os quais as tensões aplicadas são normalmente superiores ao limite mencionado. Esses processos são também denominados “Processos de Conformação Mecânica” pela sua natureza.

Dentro desse segmento da indústria há diversas técnicas para obtenção do formato final para um produto, cada uma com sua utilidade específica e suas derivações. Exemplos de técnicas são forjamento e estampagem, ambos podendo ser executados em prensa hidráulica utilizando-se de ferramentas.

2.1.1 Estampagem

Em seu fundamento, a estampagem compreende todas as operações sobre chapas executadas em prensas, incluindo operações de corte e de conformação. O processo de estampagem geralmente é subsequente a um cisalhamento da peça de acordo com a matriz e o punção de corte.

De acordo com a norma DIN 8580 (1985), os processos de estampagem pertencem a dois grupos principais, sendo esses, processos de conformação e de separação.

Ao grupo principal de conformação pertencem todos os processos que alteram a forma geométrica da peça sem separar ou adicionar material, como o

embutimento profundo, a dobra e o repuxo. Ao grupo principal de separação pertencem os processos de corte como o cisalhamento e o corte fino (SCHAEFFER, 2004).

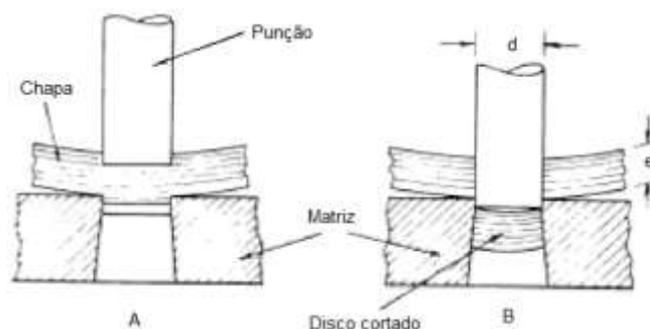
Para Daleffe (2008), o objetivo comum entre os processos de estampagem é a deformação de chapas transformando-as em produtos com dimensões precisas, formas geométricas definidas e aplicações industriais específicas, porém cada processo de estampagem possui parâmetros diferentes e particulares.

2.1.1.1 Processo De Corte

Através da pressão intermediada por uma prensa e exercida sob chapas apoiadas em matrizes, se tem a obtenção de formas geométricas previamente definidas, isso acontece devido a ação de ferramentas de corte ou punção de corte.

No instante em que a ferramenta atinge a matriz, o esforço de compressão transmitido pela prensa é convertido em esforço de cisalhamento gerando o corte. É comum as formas obtidas pelo corte serem utilizadas posteriormente em outros processos de estampagem (DA ROCHA, 2012). O processo está exemplificado na Fig. 1.

Figura 1 – Processo de corte por estampagem.



Fonte: Benazzi Junior e Caversan (2012)

Alguns fatores são fundamentais para o sucesso nesse tipo de processo, dentre eles estão os materiais usados nos componentes, as geometrias do punção e da matriz devem seguir o contorno da peça desejada, já o valor da folga entre esses elementos depende da espessura da chapa trabalhada e sua composição.



O material de construção da matriz de corte e do punção é um fator que exige atenção durante o projeto. Geralmente, as peças são feitas do mesmo material destinado a ferramentais, conhecidos como aço ferramenta, com durezas específicas para cada tipo de trabalho e esforços existentes na estampagem (PROVENZA, 1985). A relação entre condições de trabalho e características do material pode ser vista na Tab. 1.

Tabela 1: Dureza para punções e matrizes de corte.

e (mm)	HRc
0,1 – 1,2	58 – 60
1,3 – 2	52 – 54
2,1 – 3	48 – 50
> 3	38 – 40

Fonte: Provenza (1985)

O êxito do processo depende do conhecimento do comportamento da chapa quando cortada em estampos, esse procedimento é amplamente utilizado na indústria e é conhecido como corte por arrombamento.

Segundo da Cruz (2009), em um primeiro instante o punção encosta na chapa forçando a mesma para baixo. Ocorre um pequeno repuxo em todo o contorno do corte, sendo que logo no segundo momento, a chapa começa a ser cortada em aproximadamente 35% de sua espessura, ficando para última fase o estouro do restante da chapa.

Deve-se saber que em qualquer chapa cortada pelo processo convencional, haverá uma pequena deformação em seu paralelismo e certa imperfeição no corte, agravando essa situação à medida que aumentamos a espessura da chapa.

O cálculo da força de corte, descrito pela Eq. 1 é um dos fatores mais importantes desse processo, sendo responsável por efetuar a ação do corte com eficiência e com a carga correta, afetando diretamente a qualidade do produto final (BENAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012).

$$F_c = P \times e \times \sigma_c \quad (1)$$

A partir do resultado dessa equação, os demais componentes da matriz serão dimensionados, evitando superdimensionamentos no sistema.

A matriz de corte tem duas principais características geométricas que interferem no corte, a primeira delas é a espessura de corte definida de acordo com as medidas da chapa que irá ser trabalhada (Da Cruz 2009). A Tab. 2 é utilizada para determinação da vida útil (v).

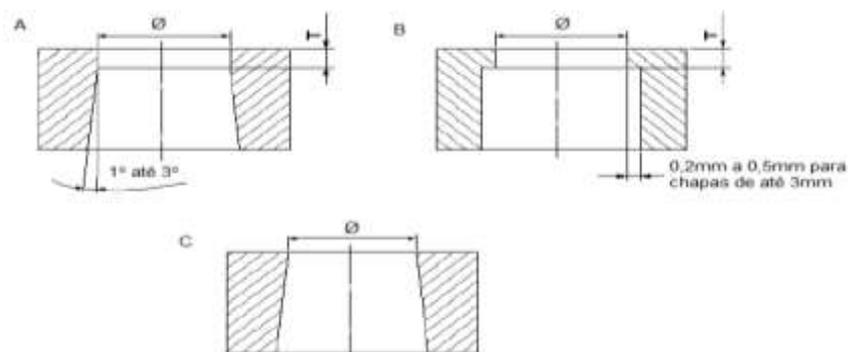
Tabela 2: Vida útil para matrizes de corte.

e (mm)	v (mm)
< 0.60	2,50
0.60 – 1,20	3,00
1,21 – 1,80	3,50
1,81 – 2,50	4,00
2,51 – 3,50	5,00
3,51 – 4,50	6,50
4,51 – 5,50	8,00
> 5,51	1,5 x e

Fonte: da Cruz (2009)

A segunda característica é o tipo de angulação, a Fig. 2 demonstra os mais utilizados, para saída do produto ou do material retirado, definida de acordo com o tipo de trabalho que a matriz irá exercer (BENAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012).

Figura 2: Tipos de geometria para matrizes de corte.



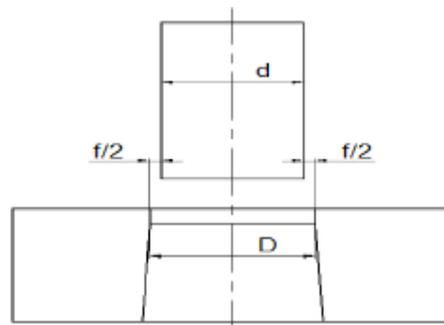
Fonte: Benazzi Junior e Caversan (2012)

Para Provenza (1985), o tipo A serve para estampar chapas de baixo carbono, sendo que o mesmo é usado em maior parte dos casos dentro da indústria.

Já o tipo B é utilizado quando se tem necessidade de troca rápida, com alta produção e para geometrias complexas. O tipo C somente é usado para chapas de alto carbono, com baixa precisão e pode adquirir rebarbas.

A folga entre o punção e a matriz de corte, ilustrada na Fig. 3, é uma característica importante devido aos elementos serem os principais do processo de corte por estampagem e ditarem como irá se desenvolver a iteração entre esses componentes.

Figura 3: Folga entre punção e matriz de corte.



Fonte: Benazzi Junior e Caversan (2012)

Segundo Benazzi Junior e Caversan (2012), as equações (2,3) que determinam a folga ilustrada é dada por:

$$f/2 = 0,005 \times e \times \sqrt{\sigma_c} \quad \text{para } e \leq 3 \text{ mm} \quad (2)$$

$$f/2 = (0,010 \times e - 0,015) \times \sqrt{\sigma_c} \quad \text{para } e > 3 \text{ mm} \quad (3)$$

Caso as folgas sejam excessivas provocam rebarbas na peça. Já folgas pequenas, causam desgaste rápido das arestas de corte, por isso a importância dessa variável.

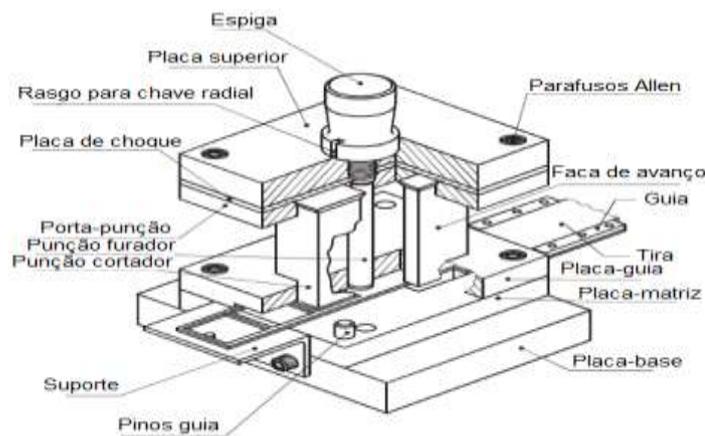
2.2 FERRAMENTAL PARA ESTAMPAGEM POR CORTE

Os estampos são compostos de elementos comuns a todos e quaisquer tipos de ferramentas e por elementos específicos e responsáveis pelo formato da peça a produzir.

Visando o melhor resultado possível, inicia-se o projeto da matriz analisando como o processo irá ocorrer e quais os componentes serão necessários. A ferramenta deve trabalhar de forma guiada com precisão para que o trabalho dos punções sob as matrizes de corte seja correto (Schaeffer, 2004).

Para Provenza (1985), os componentes devem suportar cargas altas, estarem acoplados a placas robustas e há necessidade da ação de um prensa chapas para que a pré-forma fique imóvel durante o processo. A Fig. 4 ilustra os tipos de elementos presentes nesse tipo de ferramental.

Figura 4: Componentes de estampos.



Fonte: Benazzi Junior e Caversan (2012)

Existem diversas formas de se construir um ferramental e muitos componentes que poderiam ser empregados. Nesse trabalho foram empregados uma série de itens, dimensionados de acordo com as necessidades do projeto e com base em pesquisas e estudos existentes.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

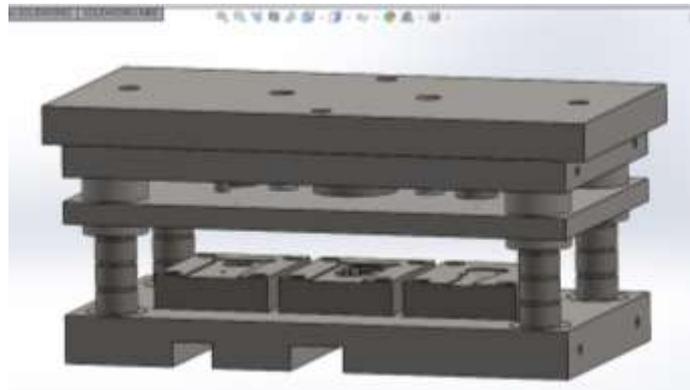
Com objetivo de transmitir as informações de forma mais organizada e facilitar a compreensão do leitor, esta fase foi dividida em etapas. Os seguintes tópicos estão dispostos em sequência lógica de execução.

3.1 PROJETO DA MATRIZ

Possuindo o conhecimento de todos os objetivos que devem ser alcançados com o presente trabalho, o contexto em que está situado e as motivações que levam a execução do mesmo, iniciou-se as etapas que compõem o projeto.

Todo o processo de criação e desenvolvimento foi feito dentro do software de desenho 3D, SolidWorks, sendo esse muito utilizado dentro da engenharia mecânica para modular peças complexas e auxiliar em grandes trabalhos. Na Fig. 5 pode-se observar a montagem da matriz completa no software citado.

Figura 5: Montagem completa da matriz dentro do SolidWorks.



Fonte: Do autor (2019)

Cada peça vista na montagem foi criada individualmente utilizando os recursos disponíveis dentro do software e posteriormente foram acopladas para avaliação do projeto e funcionamento do ferramental. O projeto se desenvolve a partir da peça que deseja-se produzir, por esse motivo a necessidade de definir o produto.

3.1.1 Produto

Para fabricação de chaveiros em perfil de abridor de garrafas normalmente são empregadas chapas com espessura entre 2,5 a 3 mm, de um material com baixo carbono, e de baixo custo, ao final da produção é opcional o uso de tratamentos superficiais com objetivo de melhorar a estética da peça. Essas características são determinadas devido a utilidade do produto.

Como a matriz responsável pela produção trabalhará com chapas em formatos pequenos e essas são comercializadas com menor custo em grandes dimensões, analisou-se que há a disposição duas máquinas guilhotinas presentes na SATC, com diferentes dimensões limites de corte. Visando a possibilidade de utilizar ambas e não chegar ao limite de corte imposto pelo fabricante, garantindo a confiabilidade e uma boa estética ao produto final, optou-se por utilizar chapas entre 2,0 mm e 2,5 mm.

Quanto ao material de composição da peça, foram levados em consideração os fatores citados anteriormente e selecionado o aço ABNT 1020, pois atenderá as exigências dos esforços, é facilmente obtido no mercado, possuindo bom custo e benefício, além da deformabilidade necessária para se trabalhar na estampagem com uma resistência ao corte de 313,81 MPa a 392,27 MPa (PROVENZA, 1984). O produto a ser fabricado está detalhado na Fig. 6.

Figura 6: Projeto do produto final.



Fonte: do autor (2019)

A pré-forma utilizada tem suas dimensões determinadas com base em normas. O primeiro objetivo é gerar o mínimo de retalho possível para evitar desperdício e atender as regras sobre as sobras laterais (PROVENZA, 1984). Com esses parâmetros definidos é possível projetar o produto final usando como referências peças comercializadas no mercado.

3.1.2 Matrizes De Corte

Elementos fixos acoplados na base inferior são conhecidos pelo termo “fêmea”, devido sua função no processo de estampagem. São responsáveis pela



forma geométrica das peças produzidas e por suportar a ação dos punções. Dentro desse projeto existem duas matrizes de corte com funções distintas, uma delas dará forma ao rasgo e ao furo, a outra define o formato do abridor de garrafas.

Esses componentes foram fabricados em aço ferramenta destinado a suportar os esforços existentes na estampagem (PROVENZA, 1985). Foi selecionado o aço D6 VC131, devido suas características de suportar tensões cisalhantes a frio e altas cargas, a dureza exigida foi atingida por tratamento térmico.

Observando a Tab. 2 e Fig. 3, foi possível definir a espessura de corte de 4mm e o ângulo de saída de 3 graus, adequados para chapa de aço carbono de até 2,5 mm de espessura (DA CRUZ, 2009).

Ainda nesses elementos existem rebaixos com intuito de acoplar a pré-forma e auxiliar no posicionamento da peça, para aperfeiçoar a montagem das matrizes nos outros componentes.

3.1.3 Punções

Elementos móveis acoplados na parte superior do ferramental são conhecidos pelo termo “macho”, devido sua função no processo de estampagem. São responsáveis por aplicar a carga na chapa que será conformada, obrigando-a a se deformar e passar pela matriz de corte. Dentro desse projeto existem quatro punções responsáveis pelo formato do abridor, furo, formato do chaveiro e gabarito para logotipagem da peça, todos eles fixados por uma cabeça com rasgo, presa entre a chapa superior e a base superior.

Seu material de construção deve ser o mesmo aplicado as matrizes de corte, pois seguem os mesmo parâmetros de escolha, baseado nas informações obteve-se a seleção do aço ferramenta D6 VC131 com dureza obtida por meio de tratamento térmico (Provenza, 1985). O comprimento total da peça será o necessário para utilização de molas com deslocamento suficiente para o corte. A folga entre “macho” e “fêmea” será de 0,15 mm, para $e < 3\text{mm}$, conforme Eq. 2 (Benazzi Junior e Caversan, 2012).

$$f/2 = 0,005 \times e \times \sqrt{\sigma_c} \quad (2)$$



$$f/2 = 0,005 \times 2,5 \times 40$$

$$f = 0.15 \text{ mm}$$

Nessa fase do projeto foi importante definir qual seria o esforço feito por esse elemento para formar a peça desejada, o punção utilizado nos cálculos foi o que exige mais da máquina, para os cálculos subsequentes sempre levar em consideração o momento crítico do processo. A força de corte é definida pela Eq 1 (BENZAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012).

$$F_c = P \times e \times \sigma_c \quad (1)$$

$$F_c = 139,96 \times 2,5 \times 40$$

$$F_c = 13996 \text{ kgf} = 137253,87 \text{ N}$$

Esse componente necessita de medidas mínimas de diâmetro e comprimento dos punções, para evitar os fenômenos de compressão e flambagem na peça, por meio de equações apresentadas foi possível confirmar que as dimensões adotadas no projeto são satisfatórias.

Para evitar compressão em materiais com tensão de corte de 392,27 MPa, o diâmetro mínimo deve ser, segundo Eq 4 (BENZAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012).

$$\varnothing_{min} = e \quad (4)$$

$$\varnothing_{min} = 2,5 \text{ mm}$$

O comprimento máximo para evitar a flambagem no punção menor, que tem o estado crítico, foi realizado conforme Eq. 5 e 6 (BENZAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012):

$$J_{min} = (\pi \times \varnothing^4) / 64 \quad (5)$$

$$J_{min} = (\pi \times 3,74) / 64$$

$$J_{min} = 9,199 \text{ kgm}^2$$

$$L_{max} = \sqrt{(\pi^2 \times e \times J_{min}) / F_c} \quad (6)$$

$$L_{max} = 11 \text{ mm}$$



Optou-se por punções do tipo retificado em esquadro, utilizados para chapas de espessura fina e aços de baixo carbono. O diâmetro deveria ser maior ou igual a espessura da chapa, com o comprimento da face de corte de 2 a 3 vezes o diâmetro (PROVENZA, 1985). As medidas foram escolhidas conforme as necessárias para usinagem dos perfis com tolerância h6 (BENAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012).

3.1.4 Base Inferior

Esse é um item auxiliar com a função de acoplar as matrizes de corte, auxiliar a suportar as cargas durante o processo e sustentar a parte fixa do ferramental na máquina. Suas características se resumem em rebaixos para o acoplamento das matrizes de corte e rasgos na parte inferior para acesso aos retalhos dos cortes.

As dimensões são definidas segundo os esforços atuantes, nesse caso 14 toneladas requer uma espessura de 38mm e seu material de construção é o aço ABNT 1020 (PROVENZA, 1984).

3.1.5 Placa Porta Punções

A placa porta punção é fixado na base superior, com função principal de acoplar os punções (cabeça e corpo) por meio de rebaixo com chanfro para facilitar a montagem e garantir a estabilidade das ferramentas. O encaixe do corpo do punção possui tolerância N7 e o encaixe da cabeça do punção com 1mm de acréscimo no diâmetro (BENAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012).

Seu material de construção é aço ABNT 1020, sua espessura deve ser maior que 25% do comprimento do punção (PROVENZA, 1985), sendo então definida como 25,4mm.

3.1.6 Prensa Chapas

A função desse item é aplicar a força das molas na pré-forma com intuito de evitar sua movimentação durante o processo de estampagem. Seu material de construção é o aço ABNT 1020, contém furos para passagem livre dos punções e rebaixos para as molas.



Para esse elemento, geralmente, utiliza-se a Eq. 7 na definição de sua espessura (BENZAZZI JUNIOR; CAVERSAN, 2012).

$$h = L/4 \quad (7)$$

Por tanto, foi optado pela espessura necessária, para ficar abaixo da área de corte dos punções e em contato com os diâmetros maiores dos mesmos.

3.1.7 Base Superior

Componente com função de fixar as partes móveis do ferramental na prensa hidráulica e auxiliar a suportar as cargas durante o processo. Além disso, conta com dois rebaixos para permitir a movimentação dos parafusos de fixação do prensa chapas.

Seu material de construção é o aço ABNT 1020, as dimensões são definidas segundo os esforços atuantes, nesse caso 14 toneladas requer uma espessura de 25,4mm (PROVENZA, 1985), porém será utilizado 30mm devido ao curso necessário do parafuso do prensa chapas.

3.1.8 Buchas E Colunas

Itens com relação de “macho” e “fêmea”, localizados nos extremos da matriz, juntos passam por toda a extensão do ferramental, com a função de guiar com precisão o trabalho durante o processo de estampagem

Dimensionados de acordo com estudos de Provenza (1985), com os comprimentos editados para atender as necessidades de curso do ferramental, tendo como material de construção aço ABNT 1020 para buchas e aço ABNT 1045 para colunas.

3.1.9 Molas

Objeto flexível capaz de armazenar energia mecânica, encontradas com diferentes composições e grande diversidade de formatos. Por definição são objetos



que dão impulso ou resistência a outras peças, imprimindo movimentos, amortecendo pancadas, devendo reagir quando solicitadas.

Nesse projeto foram empregadas duas molas, com função de aplicar suas forças de resistência na matéria prima por meio do prensa chapas. Dentre os tipos existentes, as mais indicadas são as destinadas a cargas pesadas, denominadas como linha vermelha, amplamente utilizada em matrizes de estampagem e que melhor se encaixa na questão “comprimento x deslocamento” desse trabalho.

Segundo Benazzi Junior e Caversan (2012), a escolha de molas pode ser feita pela Eq. 8, do deslocamento necessário.

$$\begin{aligned} D &= F + v + e + dhp + pc & (8) \\ D &= 1 + 4 + 2.5 + 2.5 + 2 \\ D &= 12 \text{ mm} \end{aligned}$$

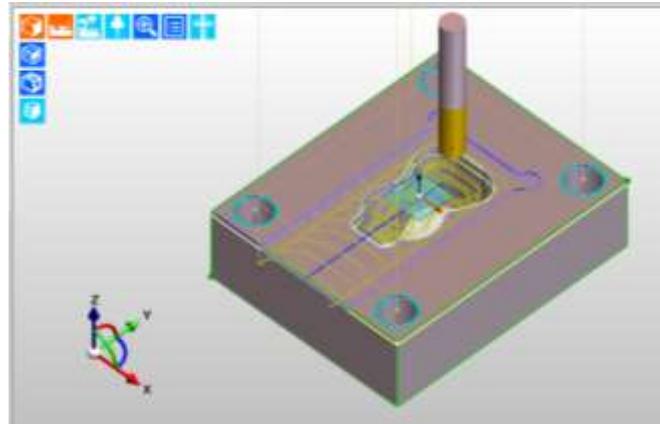
Consultando catálogos de fornecedores com todos os dados citados, foi selecionada a mola de linha vermelha, duas unidades.

O código da mola é VM20044 com diâmetro externo de 20 mm e interno 10mm, deformação máxima de 13.2 mm, força para aplicação de 1478 N e comprimento de 44 mm (MATRIPEÇAS, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Essa etapa do trabalho é destinada a programação CNC e usinagem dos componentes projetados para matriz. O programa utilizado será o Edgecam, um sistema de CAM (computer-aided manufacturing) para programação e análise de usinagem CNC de produção, moldes e matrizes. Na Fig. 07 é possível observar como é a área de trabalho do programa para gerar códigos de usinagem de uma matriz de corte.

Figura 07: EdgeCAM.



Fonte: Do autor (2019)

A usinagem compreende o processo de retirada de material que visa dar forma a uma peça, seus parâmetros estarão definidos pela programação CAM previamente explicada e aplicados nas máquinas presentes na Fig 08.

Figura 08: Centro de usinagem ROMI D600 (a) e torno CNC ROMI Centur 30D (b).



a



b

Fonte: Do autor (2019)

As peças cilíndricas destinadas a buchas e colunas foram levadas ao torno CNC ROMI Centur 30D, através de uma programação manual simples foram gerados os perfis nas buchas e colunas de acordo com as dimensões determinadas no projeto, utilizando ferramenta de desbaste externo, interno e bedame para execução do desbaste e acabamento. O processo e as peças podem ser observados na Fig. 09.

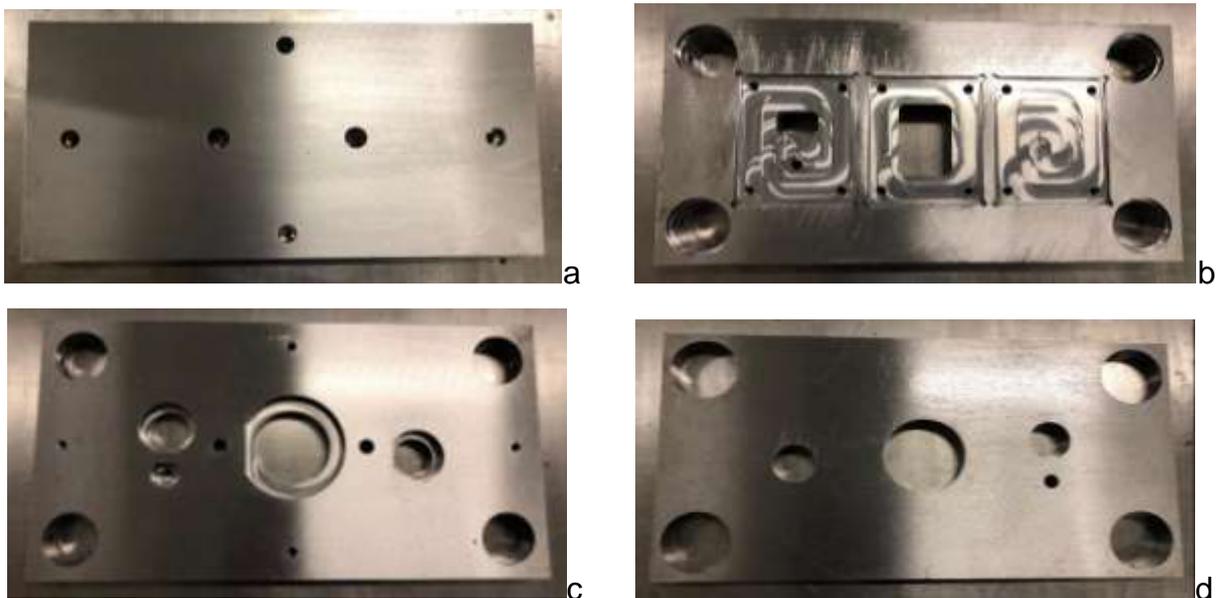
Figura 09: Usinagem no torno CNC (a), bucha e coluna (b) e conjunto guia (c).



Fonte: Do autor (2019)

As chapas retangulares de maiores dimensões foram levadas ao centro de usinagem Romi D600 e usinadas com auxílio de fixadores laterais, grampos de fixação e comando numérico gerado em EdgeCAM, como mostra a Fig 10.

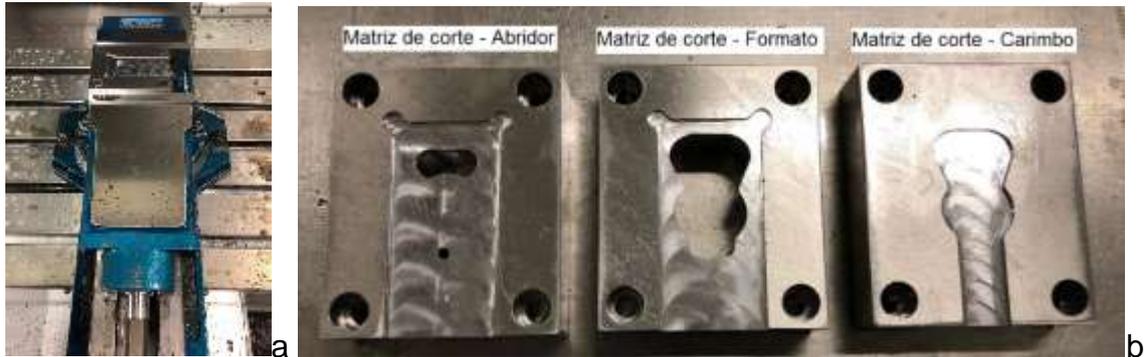
Figura 10: Base superior (a), base inferior (b), placa suporte (c) e prensa chapas (d).



Fonte: Do autor (2019)

Já as matrizes de corte são componentes retangulares de menor dimensão, por tanto, foi optado pela utilização da morsa como sistema de fixação e sua programação também foi gerada pelo software EdgeCAM. O processo e as peças usinadas estão sendo mostrados na Fig 11.

Figura 11: Aprisionamento das MC (a) e matrizes de corte (b).



Fonte: Do autor (2019)

Por último foram usinados os perfis finais dos punções, conforme a Fig. 12, as peças foram aprisionadas por uma morsa hidráulica e utilizou-se programação gerada em EdgeCAM.

Figura 12: Aprisionamento dos punções (a) e punções de corte (b).

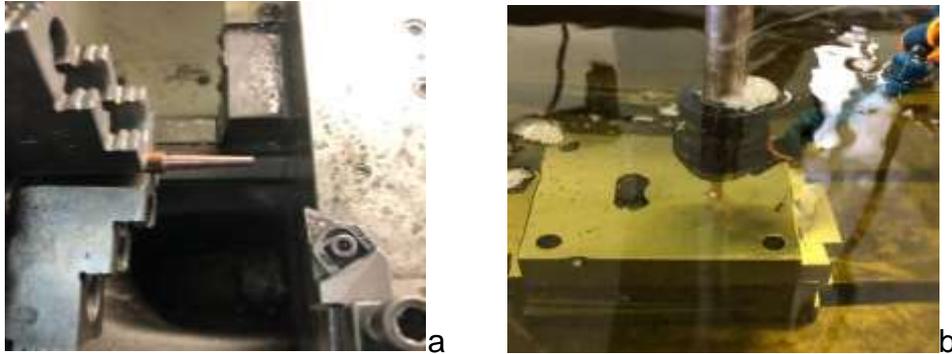


Fonte: Do autor (2019)

Ao longo de todos esses procedimentos apenas a usinagem de uma cavidade não foi efetuada nas máquinas automatizadas por falta de ferramentas adequadas, a característica em questão era o ângulo de saída dos materiais para a estampagem do furo, portanto foi necessária a utilização de uma técnica chamada de eletroerosão.

Um eletrodo feito de cobre foi usinado em torno CNC na exata forma que ele deveria reproduzir na peça. O processo de eletroerosão dispara descargas elétricas altamente controladas em pontos determinados pelo programa de corte, removendo assim micropartículas de metal da ferramenta usinada. Na Fig. 13 pode se observar esse procedimento.

Figura 13: Eletrodo de cobre (a) e processo de eletroerosão (b).



Fonte: Do autor (2019)

Após todos esses processos de usinagem as peças ficaram prontas para os devidos tratamentos térmicos, montagens e posteriormente os testes de funcionamento necessários.

4.1 TRATAMENTO TÉRMICO

Processo destinado para obtenção correta das durezas exigidas em punções e matrizes de corte de acordo com a literatura. Através dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento com os parâmetros corretos para o aço D6 VC131 foram alcançadas as características almejadas.

Para o aço utilizado na construção das matrizes de corte e punções, Aço D6 VC131 da Villares Metals, o fabricante indica que o aquecimento para têmpera deve ser entre 950°C e 970°C, já o resfriamento recomenda-se ser feito em óleo apropriado com agitação e aquecido entre 40°C e 70°C.

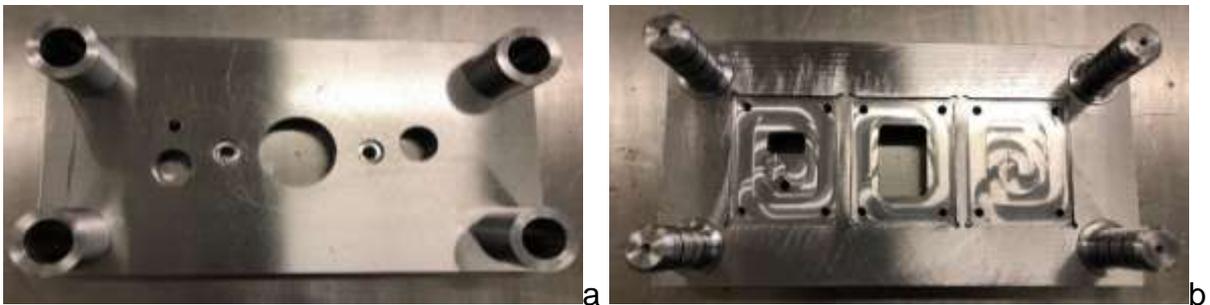
O tempo de cada procedimento foi de 2 horas, e para as peças maiores de 70mm o tempo é calculado por 1 hora para cada polegada de espessura.

A dureza desejada para os componentes em questão ficaram entre 48HRc e 52HRc, devido a espessura das chapas estampadas, com isso a temperatura de revenimento escolhida foi a de 550°C.

4.2 MONTAGEM

Neste momento montou-se todos os componentes seguindo o projeto previamente executado e respeitando todos os limites e tolerâncias impostos nos componentes. O primeiro estágio executado foi o acoplamento das buchas na placa superior e das colunas na base inferior, ilustrados na Fig. 14, operações estas feitas com muito cuidado, pois trata-se de um encaixe com interferência.

Figura 14: Montagem das buchas (a) e colunas (b).



Fonte: Do autor (2019)

Ainda na base inferior, foram acopladas as matrizes de corte nos rebaixos previamente usinados, conforme Fig. 15, com intuito de aperfeiçoar a montagem e garantir um posicionamento correto dos componentes.

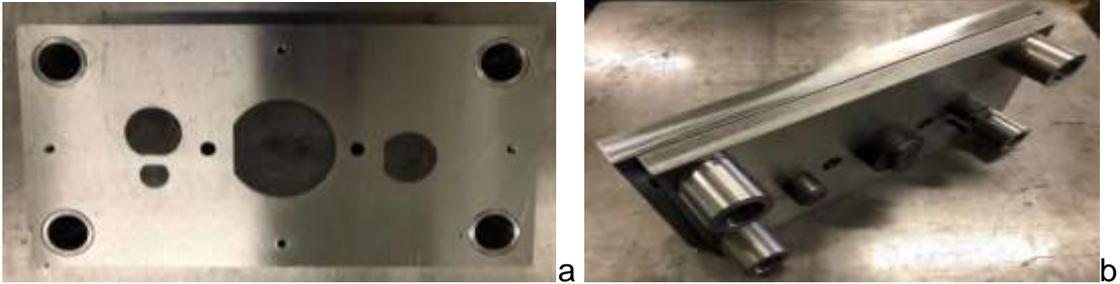
Figura 15: Montagem das matrizes de corte na base inferior.



Fonte: Do autor (2019)

Dessa maneira a parte inferior do ferramental está completa, voltando as atenções ao conjunto superior, onde na Fig. 16 pode-se observar o acoplamento dos punções de corte na placa suporte, aprisionados pela montagem da base superior.

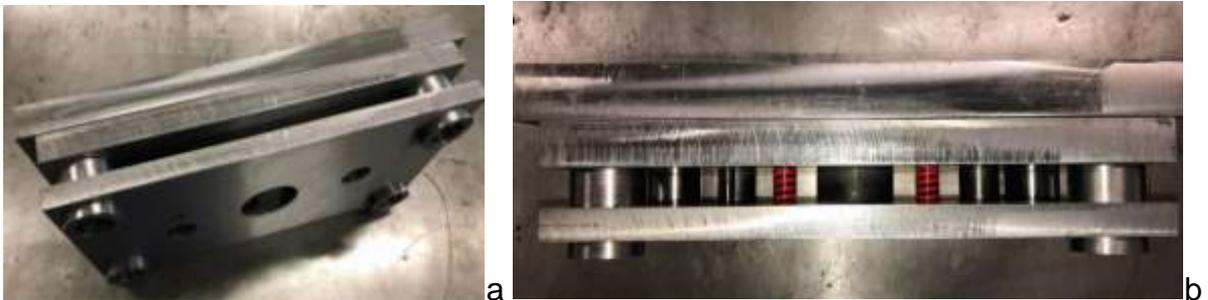
Figura 16: Montagem dos punções (a) e da base superior (b).



Fonte: Do autor (2019)

Ainda foi necessária mais uma montagem antes do acoplamento em máquina, o procedimento exemplificado na Fig. 17, onde o prensa chapas foi adicionado ao sistema superior da ferramenta, por meio de parafusos que atravessam toda a extensão do conjunto e passa por dentro das molas de compressão.

Figura 17: Montagem do prensa chapas.



Fonte: Do autor (2019)

Com o ferramental nesse estágio foi possível a instalação em prensa hidráulica, essa sendo da marca FKL e com capacidade de 150 toneladas. A máquina e a montagem da matriz podem ser vistas na Fig. 18.

Figura 18: Prensa hidráulica FKL (a) equipada com a matriz de estampagem (b).



Fonte: Do autor (2019)

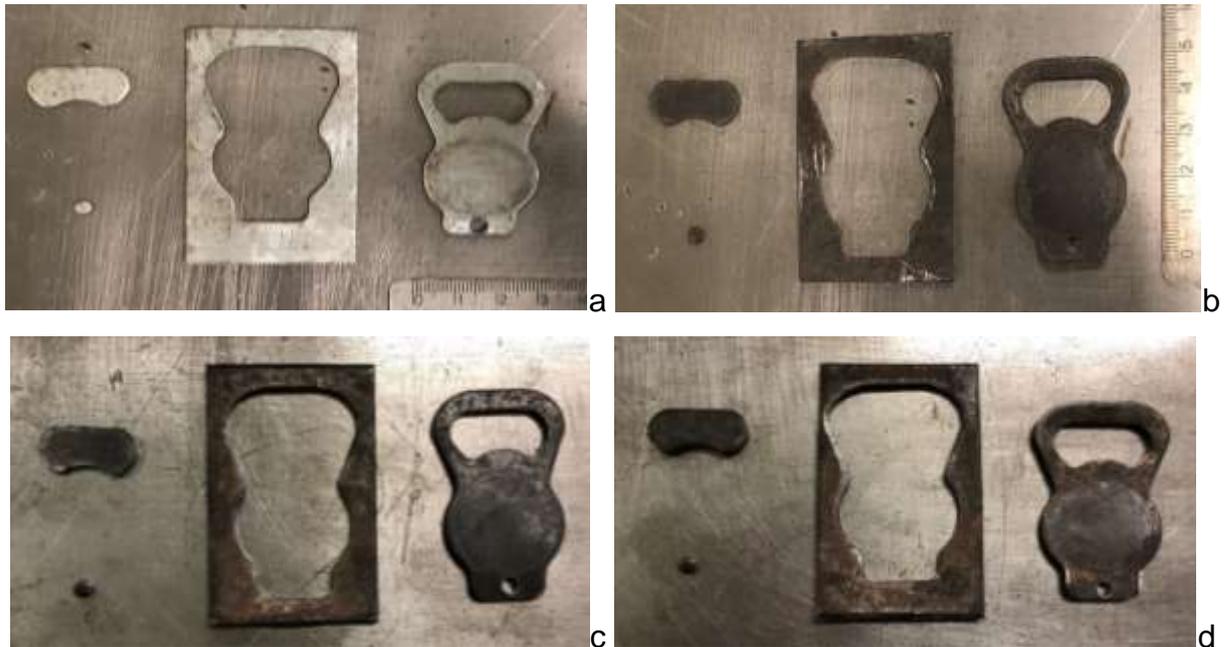
Ao final dessa etapa do trabalho, o projeto estava pronto para gerar resultados, por tanto os testes foram executados com intuito de avaliar o funcionamento do ferramental projetado.

4.3 TESTES

Dentro da fase de testes os parâmetros definidos na primeira parte do projeto foram avaliados, assim como algumas características de funcionamento e qualidade final de produto.

A carga utilizada em prensa hidráulica foi de 14 toneladas, a mesma calculada no início do projeto. Mesmo que a matriz tenha sido dimensionada para uma determinada espessura de chapa, executaram-se testes também com outras espessuras para observar o funcionamento dos produtos gerados e o desempenho da matriz, sendo o primeiro com uma chapa de 1,5mm, a cada teste utilizamos acréscimo de 0,5mm na espessura, até atingir uma chapa de 3,0mm. Os resultados estão à mostra na Fig. 19.

Figura 19: Teste em chapa de 1,5mm (a), 2,0mm (b), 2,5mm (c), 3,0mm (d).



Fonte: Do autor (2019)

As espessuras de chapas que obtiveram sucesso em abrir garradas sem sofrer deformações, ou seja, geraram melhores resultados, foram as de 2,0mm e 2,5mm, pois seus produtos ficaram leves e com as resistências e geometrias necessárias para desempenharem suas funções, pontos importantes para esse tipo de acessório.

Um único componente não trabalhou como estipulado no projeto, as molas de compressão não conseguiram exercer sua função de retornar o prensa chapas a sua posição inicial e expulsar os retalhos, fazendo com que o movimento errado da placa quebra-se o punção do furo. O componente danificado foi substituído e o erro foi corrigido com acréscimo de 4 molas para cargas pesadas com diâmetro externo de 50mm, posicionadas ao lado de cada bucha.

5 CONCLUSÃO

O ferramental teve êxito em todos os testes, a carga estipulada conseguiu gerar o produto em todas as espessuras de chapas testadas, logicamente com maior dificuldade à medida que a espessura aumentava, mas nada que afetasse o trabalho.



Foram atingidos bons níveis de qualidade dos produtos finais gerados nos testes, suas características principais como formatos, rasgos e rebaixos foram impressas corretamente nas chapas, gerando poucas rebarbas e retalhos durante o procedimento e deixando as peças com o melhor aspecto possível.

O funcionamento do ferramental ocorreu conforme o esperado, componentes como buchas, colunas, punções e matrizes de corte, desempenharam bem seus papéis, validando todo o estudo feito para definição de folgas e características de estampagem.

Um único componente não trabalhou como estipulado no projeto, a mola de compressão não conseguiu exercer sua função de retornar o prensa chapas a sua posição inicial e expulsar os retalhos, isso ocorreu por falta de força de ação na mola. Esse erro pode ser corrigido aumentando o número de molas ou a capacidade das mesmas.

Dessa forma encerra-se a última etapa do projeto, tendo como resultado o bom funcionamento do ferramental e a qualidade do produto final gerado nos testes, validando assim todo o estudo feito até a conclusão do trabalho.

REFERÊNCIAS

BENAZZI JUNIOR, Ivar e CAVERSAN, Elpidio Gilson. **Tecnologia de estampagem I: Corte**. FATEC, 2012.

BLASS, A. **Estampagem**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Apostila, 1985.

DA CRUZ, Sergio. **Ferramentas de corte, dobra e repuxo: Estampos**. Editora Hemus, 2009.

DA ROCHA, Otávio Fernandes Lima. **Conformação mecânica**. IFSC, 2012.

DALEFFE, Anderson. **Estudo do processo de estampagem incremental em chapa de alumínio puro**. UFRGS. Tese de mestrado em engenharia, 2008.

DIN 8580 – Fertingunsverfahren. Berlin: Beuth Verlag, 1985.

Matripeças. Disponível em: <http://www.matripecas.com.br/produtos/molas/molas-tipo-iso-10243-coloridas/mola-vermelha-carga-pesada/>. Acesso em: 03 de abril de 2019.



PROVENZA, Francesco. **Estampos II**. Pro-tec, 1984.

PROVENZA, Francesco. **Estampos I**. Pro-tec, 1985.

SCHAEFFER, L. **Conformação mecânica: estampagem**. 2ª ed. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.

SCHAEFFER, L. **Conformação de chapas metálicas**. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2004.

Villares Metals. Ficha técnica de D6 VC131. Disponível em: <http://www.villaresmetals.com.br/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VC131>. Acesso em: 30 de setembro de 2019.

LISTA DE SÍMBOLOS

P [mm]	Perímetro do corte
e [mm]	Espessura da chapa utilizada
σ_c [MPa]	Tensão de cisalhamento do material
f [mm]	Folga entre punção e matriz de corte
\varnothing_{min} [mm]	Diâmetro mínimo para evitar compressão
J_{min} [kgm ²]	Menor momento de inércia da seção
\varnothing_{pm} [mm]	Diâmetro do punção menor
L_{max} [mm]	Comprimento
F_c [N]	Força de corte
h [mm]	Espessura do prensa chapas
L [mm]	Comprimento do punção
D [mm]	Deslocamento necessário da mola
F [mm]	Folga depois do corte
v [mm]	Espessura de corte
dhp [mm]	Diferença de altura entre prensa chapas e punções
pc [mm]	Profundidade da pré-carga