

DIEGO SANTINI SPINDOLA

**INFLUÊNCIA DO PRÉ-CORTE NO ASPECTO DO
ACABAMENTO SUPERFICIAL DA SEÇÃO DE CORTE**

JARAGUÁ DO SUL, 2014

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - GERALDO WERNINGHAUS
CURSO SUPERIOR DE TECNÓLOGO EM FABRICAÇÃO
MECÂNICA**

DIEGO SANTINI SPINDOLA

**INFLUÊNCIA DO PRÉ-CORTE NO ASPECTO DO
ACABAMENTO SUPERFICIAL DA SEÇÃO DE CORTE.**

Trabalho de conclusão de curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina como parte dos
requisitos de obtenção do título de
Tecnólogo em Fabricação
Mecânica.

Professor Orientador:
Rubens Hesse, Dr.

JARAGUÁ DO SUL, 2014

CDD 671.33

S757i

Spindola, Diego Santini

Influência do pré-corte no aspecto do acabamento superficial da seção de corte / Diego Santini Spindola; orientação de Rubens Hesse. – Jaraguá do Sul, 2015.

1 v. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso Superior (Tecnologia em Fabricação Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Estampagem. 2. Acabamento. 3. Pré-corte. I. Hesse, Rubens. II. Título.

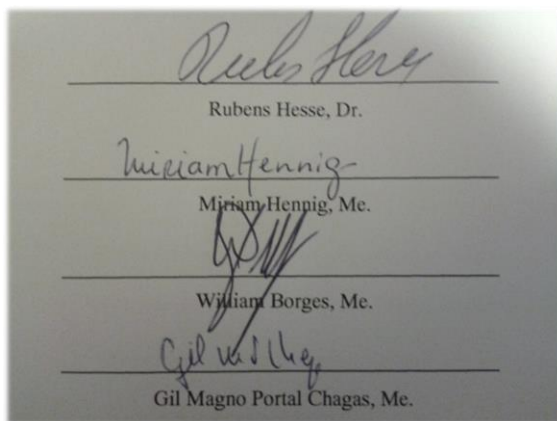
INFLUÊNCIA DO PRÉ-CORTE NO ASPECTO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DA SEÇÃO DE CORTE.

DIEGO SANTINI SPINDOLA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Tecnólogo em Fabricação Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Jaraguá do Sul, Fevereiro de 2015.

Banca Examinadora:



Rubens Hesse, Dr.

Miriam Hennig, Me.

William Borges, Me.

Gil Magno Portal Chagas, Me.

Este trabalho é dedicado à minha
família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e inteligência.

Aos meus pais, pelo incentivo.

À minha noiva, pela motivação.

Ao professor orientador Rubens Hesse, Dr., pelo aprendizado e companheirismo.

À professora Miriam Hennig, Me., pela dedicação e orientações na realização deste trabalho.

Ao colega de trabalho Josimar Berlanda, pelo apoio.

Ao colega de trabalho Sidnei Devegili, pelo apoio.

Ao colega de trabalho Genesio Strichalki, pelo apoio.

Ao colega de trabalho Moises Saplak, pelo apoio.

Ao colega de trabalho Matheus Amorim Carvalho, pelo apoio.

Ao colega de trabalho Vicente Koch, pelo apoio.

Ao colega de trabalho Fernando Dalpiaz, pelo apoio.

Ao colega de trabalho Lucas Alexandre Pastore, pelo apoio.

A todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

À empresa WEG S.A.

Ao IF-SC – Câmpus Jaraguá do Sul - Geraldo Werninghaus.

O que importa na vida não é o simples fato de ter vivido. A diferença que fizemos na vida dos outros que vai determinar a importância da vida que conduzimos.

Nelson Mandela

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo na área de estampagem, direcionada para acabamento na seção de corte de peças estampadas, e tem como objetivo definir a influência que o pré-corte exerce no acabamento da seção cortada. Para isso, foram analisadas as seções de corte em cinco tipos de *blanks* para três folgas de corte, analisando e dimensionando as áreas fornecidas em cada ensaio em microscópio, objetivando-se constatar relações entre os acabamentos produzidos com a variação do pré-corte e a folga de corte utilizada. Com as imagens e o dimensionamento das áreas da seção de corte, foram realizadas as médias das dimensões de raio, deformação plástica e ruptura para cada *blank*, sendo que o maior interesse desse estudo está voltado ao aumento da deformação plástica nas seções de corte de chapas metálicas planas. Foi também analisada a melhora da qualidade na seção de corte através de um processo que diminui a flexão da chapa metálica no momento da estampagem. Analisando os dados fornecidos pelos testes, observou-se que à medida que a folga de corte diminui, aumentam as zonas de deformações plásticas. Para os *blanks* de corte cheio, quanto maior for a área de estampagem, o valor da zona de deformação plástica diminui. Com relação aos pré-cortes, observou-se que o “sobre metal” (apara) de 5mm produziu melhores acabamentos que o “sobre metal” de 2mm.

Palavras-chave: Estampagem. Acabamento. Pré-corte.

ABSTRACT

This paper presents a study in the stamping area targeted to finish in the cutting section of stampings, aims to define the influence of the pre-cutting exercises in the finish of the cut section. For this, the cut sections were analyzed in five types of blanks for three cutting clearances, analyzing and sizing the areas provided for each test microscope, aiming to find relations between the finishes produced with the variation of pre-cut and off cutting used. With the scaling of the images and cross section areas, the mean dimensions were conducted: X-ray, plastic deformation and breakage for each blank, and the most interest in this study is directed to increasing the plastic deformation of the cutting sections flat sheet metal. Improved quality in the cut section is examined through a process which reduces the bending of metal sheet at the time of printing. Based on the data provided by the test it was observed that as the cut off reduces plastic deformation zones increase. For cutting blanks filled the higher the printing area, the amount of plastic deformation zone decreases. With respect to pre-cuts was observed that for on-metal (trim) trim 5mm produced better results than about 2mm.

Keywords: *Stamping. Finishing. Pre-cutting.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos processos de fabricação conforme DIN 8580	19
Figura 2 - Processo estampagem.....	20
Figura 3 - Produção siderúrgica no país.....	20
Figura 4 - Estampo de corte	21
Figura 5 - Vista em corte mostrando os elementos de um estampo.	22
Figura 6 - Exemplo de curva de engenharia de um ensaio de tração	25
Figura 7 - Curva tensão x deformação utilizada na conformação	26
Figura 8 - Efeito do n na forma da curva de escoamento.	27
Figura 9 - Princípio do processo de corte por cisalhamento.	28
Figura 10 - Elementos básicos de uma ferramenta de corte por cisalhamento.	29
Figura 11 - Sequência das etapas do processo de corte por cisalhamento...	30
Figura 12 - Morfologia da superfície de uma peça obtida através de corte por cisalhamento.	30
Figura 13 - Formação de repuchamento nas superfícies livres adjacentes ao punção e à matriz para pequenas folgas (esquerda) e para folgas normais e grandes (direita).	31
Figura 14 - Formação da zona de penetração (esquerda) e início da fissuração (direita).....	32
Figura 15 - Propagação das fendas segundo a direção resistente, com detalhe de formação da rebarba (esquerda) e separação da peça da chapa, com formação do cone de ruptura e	33
Figura 16 - Remoção do apara pelo processo shaving	34
Figura 17 - Representação esquemática dos tipos de desgaste que se verificam nos punções e matrizes de corte por cisalhamento.....	35
Figura 18 - Representação da folga e das principais dimensões da ferramenta de corte.....	37
Figura 19 - Gráfico para determinação da folga entre punção e matriz, em função do tipo de material e da espessura da chapa.	39
Figura 20 - Representação esquemática do modelo adotado para estudo do corte por cisalhamento.	40
Figura 21 - Morfologia da superfície cortada em função do valor da folga entre o punção e a matriz.	41
Figura 22 - Evolução da força de corte com o deslocamento do punção, durante as fases de repuchamento e penetração.	42
Figura 23 - Evolução da força de corte com o deslocamento do punção no corte por cisalhamento.	43
Figura 24 - Representação da área a ser cisalhada de uma peça com furo. .	44
Figura 25 - Projeto da ferramenta	49
Figura 26 - Estampo didático	49
Figura 27 - Prensa Hidráulica	50

Figura 28 - Microscópio Reichert	51
Figura 29 - Tipos de <i>blank</i> estampados.....	52
Figura 30 - Sobre metal de 2mm por lado.....	53
Figura 31 - Sobre metal de 5mm por lado.....	53
Figura 32 - Disposição dos punções.....	54
Figura 33 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte sem pré corte (4AB).	59
Figura 34 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte com pré- corte/sobre metal de 5mm por lado (1AD).	59
Figura 35 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte sem pré-corte (4AC).	60
Figura 36 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte com pré- corte/sobre metal de 2mm por lado (3AE).....	60
Figura 37 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte sem pré-corte (4BB)	63
Figura 38 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte com pré- corte/sobre metal de 5mm por lado (2BD)	63
Figura 39 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte sem pré-corte (5BC)	64
Figura 40 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte com pré- corte/sobre metal de 2mm por lado (2BE).	64
Figura 41 - Seção de corte com 0,02 de folga de corte sem pré-corte (2CA)	67
Figura 42 - Seção de corte com 0,02 de folga de corte com pré- corte/sobre metal de 5mm por lado (5CD)	67
Figura 43 - Seção de corte com 0,02 de folga de corte com pré- corte/sobre metal de 2mm por lado (1CE).....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensão conjunta do repuchamento e da penetração, para valores de folga ideal (valores em porcentagem da espessura).	36
Tabela 2 - Folgas por lado em função do material e do tipo de superfície a obter, conforme morfologia ilustrada na Figura 23.	38
Tabela 3 - Tensão de ruptura ao cisalhamento para diferentes materiais.	44
Tabela 4 - Composição química do aço ABNT 1010.....	45
Tabela 5 - Propriedades mecânicas do aço ABNT 1010.....	46
Tabela 6 - Identificação das chapas estampadas	51
Tabela 7 - Forças de corte	55
Tabela 8 - Medidas para folga de 0,07	57
Tabela 9 - Medida para folga de corte 0,04.....	61
Tabela 10 - Medidas para folga de corte 0,02	65
Tabela 11 - Médias gerais	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

σ_e	Tensão de escoamento	[N/mm ²]
$A_l\%$	Alongamento mínimo	[%]
ε	Deformação	[-]
φ	Deformação verdadeira	[-]
ΔR	Anisotropia planar	[-]
R_0	Índice de anisotropia a 0°	[-]
R_{45}	Índice de anisotropia a 45°	[-]
R_{90}	Índice de anisotropia a 90°	[-]
φ_w	Deformação verdadeira na largura	[-]
φ_t	Deformação verdadeira na espessura	[-]
W	Trabalho de corte	[-]
R	Anisotropia normal	[-]
n	Coefficiente de encruamento	[-]
C_s	Coefficiente da espessura da chapa	[-]
Q_w	Coefficiente de correção aplicado à força máxima de corte	[-]
f	Folga de corte unilateral	[mm]
s	Espessura da chapa	[mm]
l_s	Perímetro de corte	[mm]
l_{sa}	Perímetro ativo de corte	[mm]
h	Profundidade de penetração	[mm]
f_e	Folga de corte estática	[mm]
f_d	Folga de corte dinâmica	[mm]
d	Diâmetro do punção	[mm]
d_1	Diâmetro da matriz	[mm]
A_0	Área transversal inicial	[mm ²]
A	Área transversal instantânea	[mm ²]
A_c	Área de corte	[mm ²]
R_m	Limite de resistência	[N/mm ²]
σ	Tensão	[N/mm ²]
τ_c	Tensão de ruptura ao cisalhamento	[N/mm ²]
σ_R	Tensão de ruptura do ensaio de tração uniaxial	[N/mm ²]
k	Tensão de corte crítica	[N/mm ²]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Definição do Problema.....	16
1.3	Objetivos	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivos Específicos	16
	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	Estampagem	17
2.1.1	Ferramentas de corte - estampos.....	21
2.2	Máquinas para estampagem	22
2.3	Propriedades mecânicas dos aços laminados.....	23
2.3.1	Tensão de escoamento ou Limite de elasticidade	24
2.3.2	Limite de resistência ou resistência a tração	26
2.3.3	Alongamento.....	27
2.3.4	Coefficiente de encruamento.....	27
2.4	Processo de corte por cisalhamento.....	28
2.5	Processo de corte por cisalhamento convencional.....	29
2.5.1	Mecanismo de corte	29
2.5.2	Morfologia da superfície cortada e fases do corte	30
2.6	Processo de Aparamento ou <i>shaving</i>	33
2.7	Desgaste das ferramentas de corte.....	34
2.8	Evolução do curso do punção.....	36
2.9	Folga de corte unilateral.....	37
2.10	Qualidade de acabamento na seção de corte	40
2.11	Força e energia de corte.....	41
2.12	Controle do processo de estampagem	45
2.13	Aço carbono ABNT 1010	45
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
3.1	Aplicação.....	48
3.2	Materiais utilizados.....	48
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	56
4.1	Folga de corte de 0,07mm.....	56
4.2	Folga de corte 0,04mm.....	61
4.3	Folga de corte 0,02mm.....	65
4.4	Considerações gerais.....	68

5 CONCLUSÃO	71
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

Na indústria metalmecânica, como na maioria dos segmentos industriais, a busca por alternativas de redução de custo nos processos de fabricação e a manutenção ou ganho na qualidade dos produtos são fatores fundamentais para a sobrevivência no mercado.

Os processos de fabricação mecânica são importantes atividades tecnológicas que promovem a alteração da geometria, das propriedades e da forma dos materiais, desde a matéria-prima até a forma do produto final. O ciclo de fabricação de um produto envolve uma sucessão de operações ou processos de fabricação, em que cada um contribui para que o material se aproxime da forma final desejada.

O processo de estampagem é o processo de conformação mecânica que permite a fabricação de peças a partir de uma chapa metálica plana. Os processos de transformação de chapas metálicas, conhecidos como processos de estampagem, permitem a fabricação de ampla diversidade de produtos. O processo de estampagem abrange varias operações realizadas sobre chapas, incluindo operações de corte e de deformação plástica.

O processo de transformação de chapas metálicas permite a fabricação de diversos produtos, cujo campo de aplicação abrange grande parte das indústrias metalmecânicas, podendo ser usado para diversas finalidades dentro da área de produção de máquinas, ou ainda de motores elétricos, utensílios domésticos, em fábricas automobilísticas.

Pode-se dizer que os principais objetivos da indústria de processamento de chapas metálicas é minimizar custos, buscar a melhoria da qualidade do produto, aperfeiçoar seus processos e aumentar sua produtividade.

Com o aumento da concorrência, desencadeou-se uma grande mudança no sistema de produção das empresas. Para continuar nesse cenário, as empresas da divisão industrial obrigatoriamente evitam ao máximo o baixo rendimento de seus meios produtivos. As manobras que não acrescentam valor ao processo e ao produto devem ser cortadas e as demais otimizadas para conseguir reduzir os tempos e os custos de produção, ampliando ao máximo a taxa de benefício almejada.

Nas técnicas de produção de peças por conformação plástica de chapas, a operação de corte sempre está presente, seja para produzir as peças propriamente ditas, para cortar tiras de metal que futuramente serão dobradas ou embutidas, ou ainda, para realizar o acabamento de peças já conformadas.

Nesse sentido, a ideia de analisar a influência (o uso) do pré-corte e compreender a sua necessidade em busca de melhores acabamentos nas peças estampadas em chapas metálicas planas, possibilita a obtenção de bom acabamento na superfície de corte com uma técnica mais flexível que o processo de corte por cisalhamento *shaving** oferece.

O processo de corte por cisalhamento *shaving* é uma técnica utilizada quando for necessário o melhor acabamento na seção de corte e maior precisão dimensional. As peças estampadas pelo *shaving* possuem uma única zona lisa na seção de corte. Em contrapartida, é um processo mais custoso e demorado devido à precisão do ferramental e do avanço da chapa a ser estampada.

Para obter melhor acabamento na seção estampada, e com a missão de não aumentar o custo de processo, é necessário desenvolver um estudo para o aprimoramento de novas técnicas que atendam as necessidades das empresas metalmecânicas.

Para isso, serão realizados testes em chapas com matéria prima de uso comum na estampagem de produtos WEG, com uma ferramenta que possuirá elementos cortantes em aço ferramenta (VC-131), possibilitando a análise e a discussão dos resultados obtidos.

Finalizar-se-á este estudo com o apontamento de dados referentes à real necessidade de utilizar pré-corte e suas influências no acabamento da seção da peça estampada.

1.1 Justificativa

Na atualidade, para o ganho de qualidade na seção de corte de peças estampadas em chapas metálicas planas, são utilizadas técnicas classificadas como processos custosos. Isso acontece pelo fato de ser exigida precisão na montagem do ferramental e no avanço (passo) da chapa metálica.

As empresas procuram realizar projetos enxutos para reduzir custos de fabricação, almejando desempenho dos elementos cortantes prolongados. Os produtos, por sua vez, são fabricados com dimensionais cada vez mais precisos e com bons acabamentos nas peças estampadas em chapas metálicas planas, com maior ênfase na seção de corte. Isso ressalta a importância de serem realizados novos estudos envolvendo o processo de corte por cisalhamento.

* O processo de *shaving* ou aparamento é um processo de acabamento com alta precisão.

Para tal, confirma-se a necessidade de aprimorar a técnica de estampagem *shaving*. A partir dela será possível obter melhores acabamentos na seção de corte de peças estampadas com menos precisão de ferramental.

1.2 Definição do Problema

Considerando os fatores melhora no acabamento da seção de corte estampada, ferramentas com ajustes precisos e ainda empresas requerendo redução de custos em novos projetos, surge a pergunta de pesquisa: de qual maneira o pré-corte influencia no acabamento superficial da seção de corte de peças metálicas planas estampadas?

Para sanar essa indagação, é fundamental estudar uma nova técnica de estampagem que contribua positivamente com o acabamento na superfície estampada. Para isso, é indispensável analisar a influência que o pré-corte exerce na melhora da superfície estampada com parâmetros menos rigorosos na questão de precisão de montagem e no aumento no custo do ferramental.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Indicar qual a influência do pré-corte no aumento da qualidade do acabamento com folgas de corte que não necessitem de um sistema com folgas de corte deslizantes.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar diferentes parâmetros de estampagem observando a diferença, ou não, no acabamento da seção de corte;
- Compreender possíveis correlações entre variáveis, possibilitando a indicação da melhor combinação de parâmetros;
- Observar a influência do sobre metal no acabamento da seção de corte;
- Verificar a influência do pré-corte em estampos, com a finalidade de evitar custos desnecessários na fabricação de uma ferramenta cuja concepção é precisa.

REVISÃO DA LITERATURA

Este trabalho é relacionado ao processo de corte por cisalhamento, classificado como um processo de estampagem, utilizado principalmente na fabricação de produtos a partir de chapas metálicas planas. Para facilitar o entendimento do trabalho, neste capítulo serão apresentados conceitos sobre o processo de corte por cisalhamento convencional.

2.1 Estampagem

Segundo Rodrigues e Martins (2005), estampagem é um processo que utiliza prensas com a intenção de modificar a chapa metálica a uma forma desejável. Na estampagem, alguns materiais são utilizados com mais frequência: aço, alumínio, zinco, níquel, titânio, latão e cobre. O processo de estampagem é capaz de produzir em alta escala produtos com boa qualidade e repetitividade.

“Este processo de fabricação já é conhecido e muito utilizado, devido ao baixo custo por unidade e por sua homogeneidade entre peças, principalmente quando se trata de produção em série” (BRITO, 2004, p.13)

Para complementar as vantagens do processo, Rodrigues e Martins (2005, p.187) afirmam que:

O fabrico de componentes a partir de chapa metálica tem uma importância muito significativa a nível industrial. Para o entender basta pensar na quantidade de produtos industriais e de consumo onde intervêm componentes fabricados a partir de chapa metálica.

De acordo com Qualinox (2014), materiais como o cobre e o bronze são utilizados na produção de dispositivos elétricos domésticos, peças para canalização ou jóias. Peças estampadas em aço, como peças de automóveis e utensílios domésticos, são produzidas em maior volume.

Na estampagem, a chapa metálica passa pela ferramenta, onde é conformada através da força atribuída pelo martelo da prensa (BRITO, 2004).

Para a conformação da chapa metálica, as prensas são responsáveis por aplicar força, velocidade e precisão ao movimento. As prensas podem ser mecânicas ou hidráulicas (CRUZ, 2008).

Souza (2013, p. 4) define estampagem como:

A estampagem é um método de conformação sob condições de compressão e tração, onde uma chapa é forçada a escoar para dentro de uma cavidade na matriz, da qual assume a forma com um simples golpe da prensa é possível obter um copo a partir de um disco de chapa (blank).

Para expressar a importância que o processo tem na fabricação de peças, Rodrigues e Martins (2005, p. 187) afirmam que “O corte por arrombamento é um dos processos tecnológicos mais usados para cortar chapa, embora também seja utilizado no corte de varão, de barra, de tubo ou de perfis estruturais.”

A operação de conformação de chapas é dividida em duas classes, a conformação e a separação. Para melhor ressaltar essa ideia recorreremos a Schaeffer (1999, apud BOFF, 2012, p. 19) que afirma:

Ao grupo de conformação, pertencem todos os processos que alteram a forma geométrica da peça sem que haja separação ou adição de material, por exemplo, estampagem, embutimento profundo, dobra e repuxo. Ao grupo de separação, pertencem todos os processos de corte por cisalhamento, por exemplo, o corte convencional comumente usado por ser um processo simples e de baixo custo e o corte fino mais conhecido como “fineblanking”

Para Rodrigues e Martins (2005), a estampagem pode ser realizada a frio ou, dependendo da necessidade, até mesmo a quente. Os processos de corte e dobramento, normalmente, são realizados a frio. O mesmo não acontece para alguns casos de embutimento profundo.

O processo de estampagem é indicado para fabricação de peças em alto nível de produção, o qual é mais vantajoso que os demais

processos: “ [...] no que se refere às peças produzidas a resistência mecânica não sofre alteração relevante, a precisão dimensional e o acabamento são bons e o custo relativamente baixo.”(RODRIGUES; MARTINS, 2005, p. 187).

Os processos de fabricação são divididos em grupos de acordo com a norma alemã DIN 8580 – Processos de Fabricação. Souza (2000, apud MÜLLER, 2012, p.19) afirma que:

Conforme descrito na norma DIN 8580, os processos de fabricação estão divididos em três grupos principais, segundo o tipo de processamento: criação de forma, alteração da forma e alteração das propriedades do material. Dentro dos três grupos principais estão distribuídos os processos de manufatura em seis grupos



Figura 1 - Classificação dos processos de fabricação conforme DIN 8580
Fonte: Müller (2012, p. 20)

O processo de estampagem pode ser dividido em quatro operações principais, conforme mostrado na Figura 2.

Segundo Bataglin (2009, apud MÜLLER, 2012), a estampagem é um processo muito relevante, devido à sua abrangência de produtos produzidos através de chapas como, por exemplo, capôs de carro, painéis, lataria de implementos, máquinas agrícolas, peças para eletrodomésticos, entre outros.

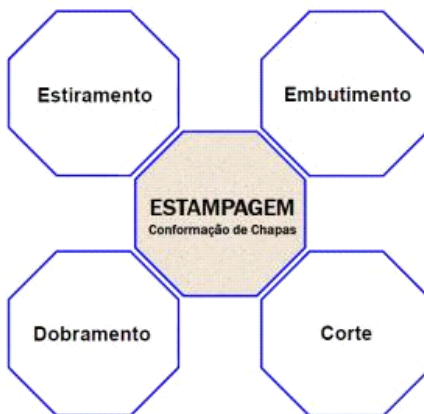


Figura 2 - Processo estampagem

Fonte: Müller (2012, p. 21)

O Instituto Aço Brasil apud Müller (2012), comparando o processo de estampagem com outros processos, constata a importância econômica que o processo exerce na produção de chapas nos últimos anos no Brasil. As chapas fabricadas por processo de laminação representam 20% da capacidade das siderúrgicas do país, conforme dados apresentados na Figura 3.

MAIO 2012 – PRODUÇÃO SIDERÚRGICA BRASILEIRA									
PRODUTOS	JAN/MAI		12/11	MAR	ABR	MAIO		12/11	ÚLTIMOS 12 MESES
	2012(*)	2011	(%)			2012(*)	2011	(%)	
AÇO BRUTO	14.840,3	14.823,3	(1,2)	3.112,8	3.028,9	2.886,7	3.268,6	(11,7)	35.037,1
LAMINADOS	10.984,9	10.770,1	2,0	2.354,1	2.193,9	2.293,2	2.269,3	1,1	25.454,7
PLANOS	6.415,6	6.251,5	2,6	1.411,8	1.254,6	1.353,7	1.289,3	5,0	14.429,0
LONGOS	4.569,3	4.518,6	1,1	942,3	939,3	939,5	979,8	(4,1)	11.025,7
SEMI-ACABADOS P/VENDAS	3.163,9	3.145,6	0,6	679,3	721,1	590,2	733,1	(19,5)	8.056,1
PLACAS	2.638,1	2.623,6	0,6	559,9	635,2	479,5	617,6	(22,4)	6.759,7
LINGOTES, BLOCOS E TARUÇOS	525,8	522,0	0,7	119,4	85,9	110,7	115,5	(4,2)	1.296,4
FERRO-GUSA (USINAS INTEGRADAS)	11.369,8	11.660,1	(2,5)	2.416,3	2.354,2	2.234,5	2.575,0	(13,2)	27.300,5

Figura 3 - Produção siderúrgica no país.

Fonte: Müller (2012, p. 21)

2.1.1 Ferramentas de corte - estampos

O grande objetivo de uma pequena ou grande empresa é produzir artefatos com grande quantidade, com boa qualidade e de baixo custo. A produção em série acompanhada de máquinas e ferramentas é uma solução para essas empresas. Máquinas e ferramentas são mecanismos capazes de ter alto nível de produção, mantendo um padrão de fabricação no produto final. Em PRO-TEC, 1976, p. 17, constata-se que:

A estampagem de chapas é um processo aliado com a produção seriada. Este processo possibilita a fabricação de produtos (objetos com forma geométrica própria e determinada), através de uma ferramenta capaz de realizar algumas operações mecânicas simultaneamente (corte, dobra e repuxo), combinadas de uma chapa metálica.

De acordo com Cruz (2008), estampos são projetados e fabricados para produzir artefatos através da conformação mecânica, fazendo com que uma chapa metálica se transforme em produtos acabados.

Para classificar os tipos de estampo, Cruz (2008, p. 13) determina que: “os estampos são classificados por três operações básicas: corte, dobra e repuxo.”

Os estampos de corte, necessariamente, possuem em seu conjunto uma matriz e um punção, os quais são responsáveis pelo corte da chapa (BRITO, 2004)

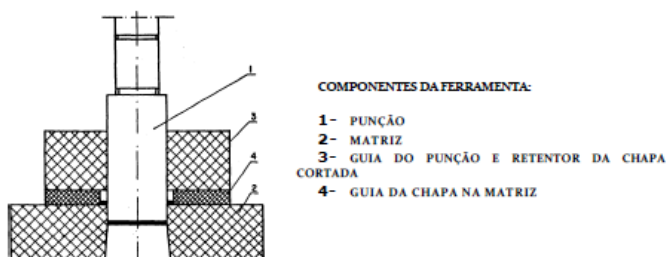


Figura 4 - Estampo de corte

Fonte: Bresciani (2011, p.71)

Brito (1981, apud Amorim, 2012, p. 20) classifica estampo progressivo como: “ [...] é o tipo de ferramenta na qual a peça tende sempre a avançar progressivamente sendo composto primeiramente de elementos comuns e por fim por de elementos específicos responsáveis pelo formato da peça a produzir.”

Na Figura 5 está representado um estampo progressivo em corte, onde pode ser observada a montagem do seu conjunto.

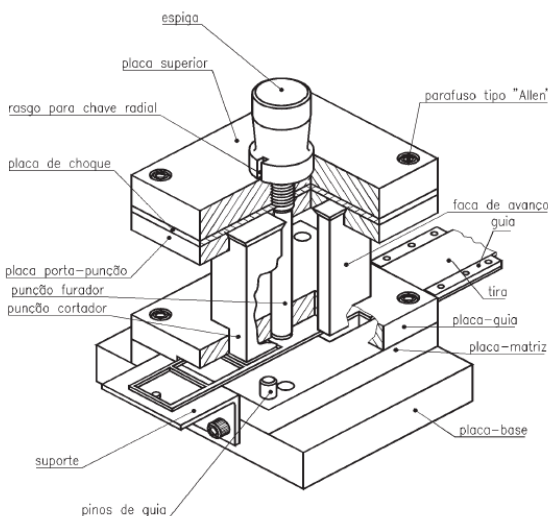


Figura 5 - Vista em corte mostrando os elementos de um estampo.
Fonte: Amorim (2012, p. 20)

2.2 Máquinas para estampagem

As máquinas utilizadas no processo de estampagem são prensas mecânicas ou hidráulicas. Para a alimentação da chapa, as prensas podem possuir dispositivos que realizam essa operação.

Para Cruz (2008), as prensas são utilizadas em larga escala nas indústrias metalúrgicas, na transformação de chapas de aço em produtos específicos. Segundo Cruz (2008, p. 19) “[...] são fabricados estampas específicos para um determinado produto, onde estes estampas são fixados nas prensas para que se faça a produção em série deste produto determinado”.

A escolha da máquina é influenciada por alguns fatores, os quais são: forma, dimensão e quantidade produzida de peça. (BRESCIANI, 2011).

2.3 Propriedades mecânicas dos aços laminados

Segundo Cetlin e Helman (2005), a laminação é um processo onde uma peça passa por dois cilindros com a finalidade de reduzir a sua seção transversal.

Para a laminação de chapas, Cetlin e Helman (2005, p.193) esclarecem que “[...] o processo é bastante semelhante ao estiramento por forjamento, apresenta bom controle dimensional.” “O material ao passar entre dois rolos sofre deformação plástica, a espessura é reduzida e o comprimento e a largura são aumentados.” (RODRIGUES; MARTINS, 2005, p. 137)

Rodrigues e Martins (2005) acrescentam ainda que a laminagem pode produzir chapas planas como também produtos não planos, por exemplo: varões, tubos, barras e perfis estruturais.

Müller (2012) diz que para o projetista antecipar a reação do material, no momento da estampagem, é essencial que ele possua os parâmetros referentes aos comportamentos ou propriedades mecânicas dos materiais, determinados através de ensaios mecânicos.

Keeler (1968, apud SROUR JUNIOR, 2002, p. 24) ressalta a importância dada para a previsão do comportamento do material:

Um bom entendimento da conformabilidade dos metais é essencial para a produção de estampados de qualidade. Não há qualquer índice que permita que a conformação de um material específico seja previsível para todas as condições de produção ou todos os estampos. Um material que é facilmente conformável para um determinado design pode vir a falhar quando este é usado para um estampado de uma configuração diferente.

Müller (2012, p. 22) complementa a questão dos ensaios mecânicos da seguinte forma:

Os ensaios mecânicos são aplicados para aferir as diferentes propriedades especificadas em norma, sendo o mais comum o ensaio de tração que avalia a resistência mecânica e a ductilidade.

De acordo com Usiminas (2014), as propriedades mecânicas dos aços limitam-se, na maioria dos casos, ao valor máximo de limite de escoamento (σ_e), de resistência (R_m) e um alongamento ($A_l\%$) mínimo. Para aços com exigência de maior conformabilidade, também são determinados os coeficientes de anisotropia (R) e encruamento (n).

2.3.1 Tensão de escoamento ou Limite de elasticidade

Souza (1974, apud SANTOS, 2007, p. 26) afirma que:

O início da deformação plástica é verificado em vários metais e ligas dúcteis, principalmente no caso dos aços de baixo carbono, pelo fenômeno do escoamento. [...] o escoamento é um tipo de transição heterogênea e localizada, caracterizado por um aumento relativamente grande da deformação com variação pequena da tensão durante a sua maior parte, depois do escoamento o metal está encruado.

Keeler (1968, apud BOFF, 2012, p. 20) comenta sobre o limite de elasticidade:

O modo que uma chapa pode ou não ser conformada sem falha depende alguns fatores, como propriedades do material, condições superficiais, tamanho e forma do blank, lubrificação, velocidade da prensa, pressão do prensa chapas, design do punção e da matriz.

A tensão de escoamento mostrada no exemplo de curva de engenharia de um ensaio de tração, na Figura 6, é a carga que delimita a faixa elástica do material, ou seja, o limite de carga em que as deformações ainda são reversíveis.

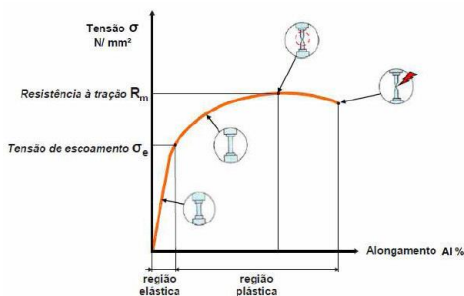


Figura 6 - Exemplo de curva de engenharia de um ensaio de tração

Fonte: Müller (2012, p. 23)

Para Cerveira (2002, apud THON, 2006), submetendo um corpo a uma determinada tensão o mesmo tende a deformar. Na fase da deformação elástica o corpo volta a seu estado natural no momento em que a tensão é removida. Para alcançar deformação plástica cada material possui um valor de tensão aplicada para que isso ocorra.

Para complementar a definição do limite de elasticidade: “Quando se carrega um corpo no regime elástico, ele sofre deformações, que desaparecem após a retirada da carga.”(CENTLIN; HELMAN, 2005, p. 45)

A tensão de engenharia (σ) e a deformação em escala natural (ε) são dadas pelas seguintes equações:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}$$

onde (A_0) corresponde a área transversal inicial, (F) uma força tensora, (l) comprimento instantâneo do corpo de prova e (l_0) o comprimento inicial do corpo de prova.

Para a maioria dos metais, o comportamento elástico é linear, portanto a relação tensão x deformação é expressa pela equação:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

onde (E) representa o módulo de Elasticidade ou módulo de Young.

Para a conformação, é importante a faixa da curva onde ocorre a deformação plástica antes de iniciar a estricção do material, conforme Figura 7.

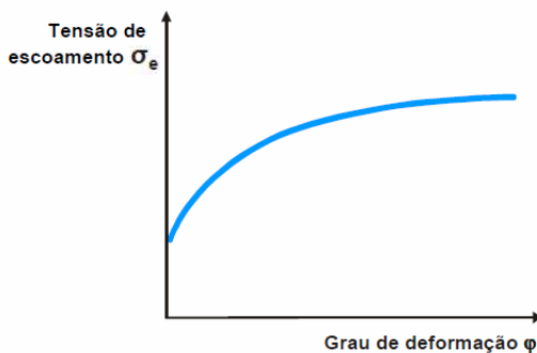


Figura 7 - Curva tensão x deformação utilizada na conformação

Fonte: Müller (2012, p. 24)

Para esta condição, a tensão de escoamento (σ_e) é expressa por:

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

onde (F) corresponde a força tensora e (A) a área transversal instantânea.

2.3.2 Limite de resistência ou resistência a tração

Conforme mostrado na Figura 6, a resistência à tração (R_m) é a carga máxima atingida durante o ensaio do material. A partir deste ponto, a deformação começa a se localizar sob a forma de estricção.

2.3.3 Alongamento

Alongamento é considerado o percentual ao qual o material permite se deformar até romper (Figura 6). A deformação ocorre uniformemente até iniciar a estricção do material. Em percentual o alongamento é expresso por:

$$Al\% = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100$$

Δl é a variação do comprimento do corpo de prova durante o ensaio e l_0 é o comprimento inicial do corpo de prova.

2.3.4 Coeficiente de encruamento

Para Thön (2006), o coeficiente de encruamento é caracterizado pela propensão do aço aumentar sua resistência durante a deformação.

Para complementar essa teoria, Thön (2006, apud MÜLLER, 2012, p. 25) defende que:

Quanto maior o valor de n , maior a resistência a estricção e maior o retorno elástico do material. A inclinação da curva real desse material será maior e mais uniforme com a distribuição das deformações na presença de um gradiente de tensões. Como consequência, para materiais com valores baixos de n , sua curva será mais horizontal.

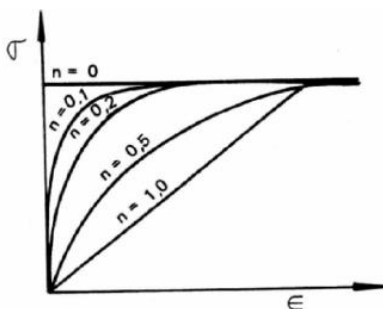


Figura 8 - Efeito do n na forma da curva de escoamento.

Fonte: Thön (2006, p. 12)

2.4 Processo de corte por cisalhamento

O processo de corte por cisalhamento destina-se à obtenção de peças com formas geométricas requeridas, a partir de chapas metálicas submetidas à ação de pressão exercida por um punção de corte contra uma matriz (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

Um fator importante que define o processo que será utilizado é a qualidade da região cortada, pois o processo de corte convencional é diferenciado do corte fino pelo fato de utilizar folgas maiores. O corte convencional utiliza folgas entre 5 a 10% da espessura da chapa; já no processo de corte fino essa folga é de 1% (BOFF, 2012). “Uma ferramenta típica de corte por arrombamento é constituída por um punção cujo contorno tem a geometria da peça a cortar, e por uma matriz que assegura a passagem do punção e das peças cortadas.” (RODRIGUES; MARTINS, 2005, p 187)

Para Müller, (2012), o corte por cisalhamento nas indústrias pode ser denominado como puncionamento, corte por arrombamento ou estampo; o punção e a matriz são as partes principais para o corte, conforme representado na Figura 9.

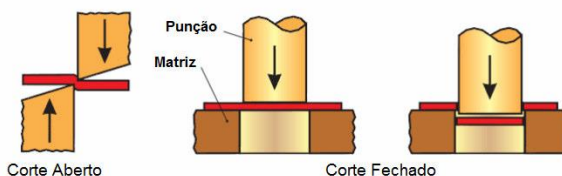


Figura 9 - Princípio do processo de corte por cisalhamento.

Fonte: Müller (2012, p. 28)

Bataglin, 2009 apud Müller, 2012, p. 30) comenta sobre corte por cisalhamento:

O corte por cisalhamento é um processo de estampagem caracterizado pela operação pela qual o material, normalmente chapa metálica, é completamente cortado ou separado, por uma solicitação superior a sua resistência à ruptura.

Existem classificações originadas das indústrias especializadas nos processos de corte, que podem ser descritas como: processo de corte

convencional; processo de aparamento ou *shaving*; processo de corte fino ou de precisão.

2.5 Processo de corte por cisalhamento convencional.

Para facilitar o entendimento do processo de corte por cisalhamento, serão representados os elementos básicos do processo.

2.5.1 Mecanismo de corte

Uma ferramenta típica de corte por cisalhamento convencional é composta basicamente pelos elementos mostrados na Figura 10. Os principais componentes são o punção e a matriz, que realizam efetivamente o corte.

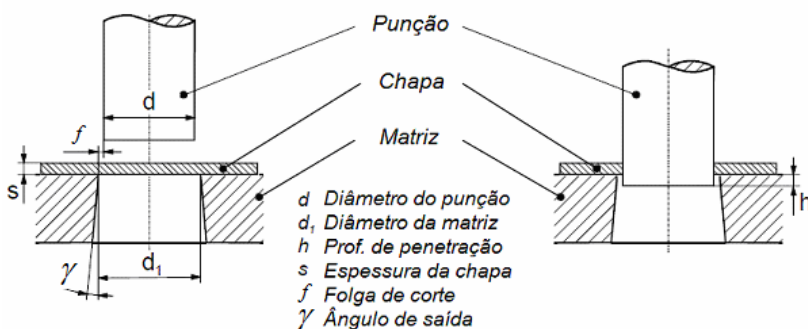


Figura 10 - Elementos básicos de uma ferramenta de corte por cisalhamento.

Fonte: Müller (2012, p. 32)

Complementa Souza (2001, p. 54) que:

No caso de um punção circular, o diâmetro do punção é levemente inferior ao diâmetro da matriz de forma a existir uma folga entre os dois que permite que o punção penetre na matriz, separando a chapa em duas partes. Esta folga é o parâmetro mais importante do processo.

A forma como ocorre o corte é entendida através da Figura 11.

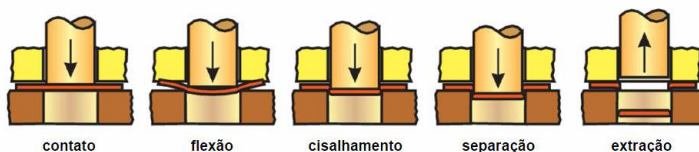


Figura 11 - Sequência das etapas do processo de corte por cisalhamento.
Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 188).

2.5.2 Morfologia da superfície cortada e fases do corte

Conforme Rodrigues e Martins (2005, p. 194), a morfologia da superfície de uma peça obtida por corte por cisalhamento é constituída por quatro zonas distintas: o repuchamento, a zona de penetração, o cone de ruptura e a rebarba, conforme representado na Figura 12.

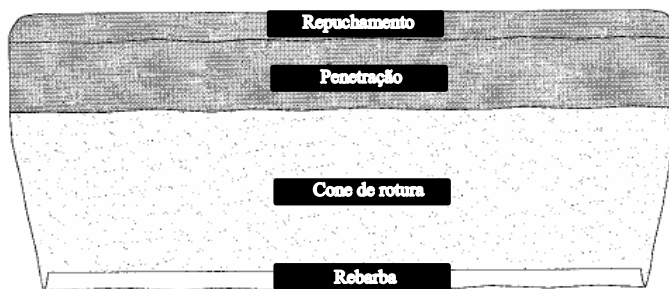


Figura 12 - Morfologia da superfície de uma peça obtida através de corte por cisalhamento.

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p 194)

2.5.2.1 Repuchamento

Na fase inicial do processo de corte, a progressão do punção é acompanhada pela formação de um repuchamento das superfícies livres adjacentes ao punção e na matriz (Figura 13). No caso de folgas muito

pequenas, antes de se iniciar a fase de repuchamento, pode surgir um fenômeno local de indentação, tendo como consequência a elevação do material junto das arestas do punção e da matriz. Em qualquer dos casos os fenômenos são permanentes, ou seja, ocorre deformação plástica (RODRIGUES; MARTINS, 2005).

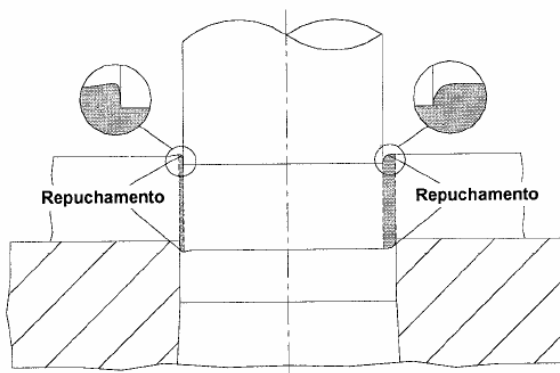


Figura 13 - Formação de repuchamento nas superfícies livres adjacentes ao punção e à matriz para pequenas folgas (esquerda) e para folgas normais e grandes (direita).

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 192)

2.5.2.2 Penetração

À medida que o punção continua o seu curso, as superfícies resultantes da deformação plástica tornam-se verticais e passam a ser definidas pelas paredes laterais do punção e da matriz, respectivamente, na chapa e na peça que vai penetrando na matriz (Figura 14). Esta fase denominada por penetração vai-se desenvolvendo enquanto a deformação imposta pelo processo φ for inferior à deformação máxima que o material pode suportar - $\varphi_{\max}$. A parte da superfície de corte gerada através deste mecanismo caracteriza-se por ser polida e brilhante, e por ter dimensões regulares e precisas (RODRIGUES; MARTINS, 2005).

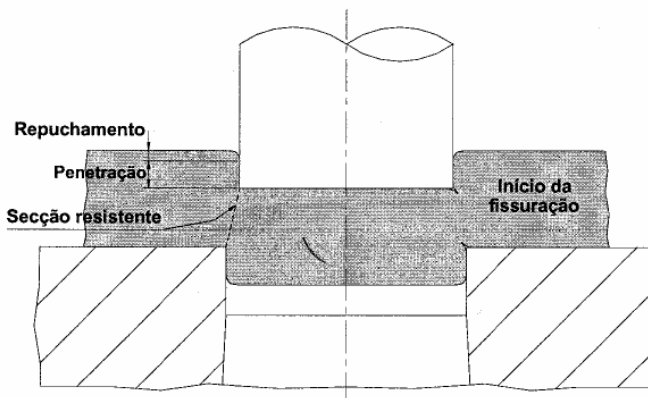


Figura 14 - Formação da zona de penetração (esquerda) e início da fissuração (direita).

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 193)

2.5.2.3 Cone de ruptura

Uma vez alcançado o valor máximo de deformação que o material pode suportar em deformação plástica, $\phi_{\max}$, irão surgir fissuras junto das arestas do punção e da matriz, segundo direções que fazem 45° com a direção vertical (Figura 14). Com a continuação do movimento do punção, a direção de propagação das fendas começa a rodar no sentido de se aproximar da direção da seção resistente instantânea, de modo que as fissuras provenientes do punção venham a se encontrar com as que propagam a partir da matriz, garantindo a separação entre a peça e a chapa. A parte da superfície que resulta deste mecanismo designa-se por cone de ruptura e caracteriza-se por ter certa conicidade, ser irregular e de aparência rugosa (Figura 15) (RODRIGUES, MARTINS, 2005).

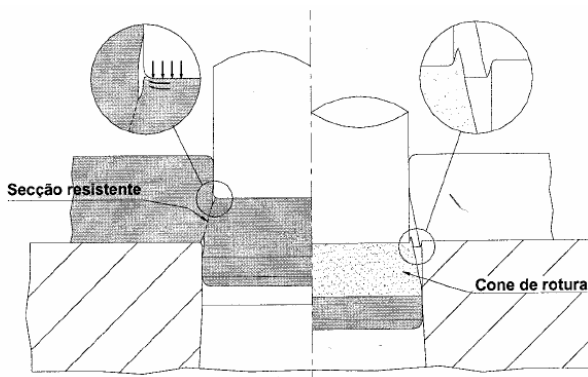


Figura 15 - Propagação das fendas segundo a direção resistente, com detalhe de formação da rebarba (esquerda) e separação da peça da chapa, com formação do cone de ruptura e detalhe mostrando as rebarbas (direita).

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p 194).

2.5.2.4 Rebarba

Durante a fase de propagação das fendas surge o mecanismo de formação das rebarbas. Devido à propagação das fendas, abre-se um espaço junto às arestas do punção e da matriz para onde o material que se encontra sob o punção e sobre a matriz pode escoar, dando origem a rebarbas (Figura 20). Naturalmente que a dimensão da rebarba será determinada pelo desgaste das arestas de corte, pela ductibilidade do material que se está a cortar, pela dimensão da folga e também pelo valor da força de corte que é aplicada localmente (RODRIGUES; MARTINS, 2005)

2.6 Processo de Aparamento ou *shaving*

Para Martins e Rodrigues (2005, apud MÜLLER, 2012), o processo de *shaving* ou aparamento é um processo de acabamento com alta precisão; é usado como uma operação complementar do corte por cisalhamento convencional, tendo como objetivo remover as irregularidades superficiais características deste tipo de corte.

Segundo Rodrigues e Martins (2005, p. 225), “[...] A morfologia obtida por ‘*shaving*’ caracteriza-se por ter praticamente uma única zona lisa, brilhante em dimensões precisas [...]”.

O procedimento para fabricar peças com esta qualidade superficial é: faz-se, em primeiro lugar, o corte por cisalhamento convencional, deixando-se um excesso de material adequado para a operação seguinte de *shaving*. Em seguida, a peça é submetida à operação de apartamento numa ferramenta própria, onde o conjunto punção/matriz é montado praticamente sem folga (RODRIGUES; MARTINS, 2005).

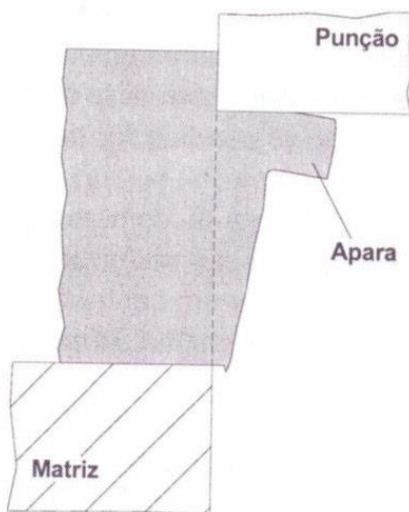


Figura 16 - Remoção do aparta pelo processo shaving

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p 226)

Para Rodrigues e Martins (2005, p.225):

Talvez o problema com maior acuidade que se coloca neste processo seja o da alimentação das peças na ferramenta de “shaving”, onde as pequenas dimensões que vão ser cortadas exigem um centramento preciso da peça na ferramenta. Esta questão torna o processo pouco produtivo, requerendo, muitas vezes, que a alimentação tenha que ser manual.

2.7 Desgaste das ferramentas de corte

De acordo com Martins e Rodrigues (2005, apud MÜLLER, 2012), o corte por cisalhamento sujeita os punções e as matrizes a níveis de desgaste consideráveis. A Figura 17 mostra a localização dos

principais tipos de desgaste para os componentes ativos das ferramentas de corte por cisalhamento.

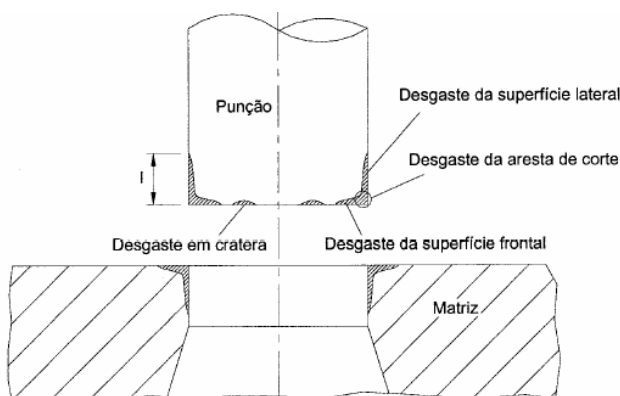


Figura 17 - Representação esquemática dos tipos de desgaste que se verificam nos punções e matrizes de corte por cisalhamento

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 222)

O desgaste da aresta de corte e das superfícies laterais do punção e da matriz são resultantes dos mecanismos de adesão e de abrasão originados pelo escorregamento entre punção/matriz e as superfícies das peças que sofreram elevados níveis de encruamento (MARTINS; RODRIGUES, 2005 apud MULLER, 2012).

Para esclarecer alguns motivos que levam ao desgaste dos elementos cortantes de uma ferramenta. Martins e Rodrigues (2005, p. 222) comentam que: “Forças de corte elevadas, folgas reduzidas e esforços de impacto significativos (geralmente associados a cadências de produção elevadas) agravam o desgaste da aresta de corte [...]”.

Para Souza (2000, apud MÜLLER, 2012, p. 49):

[...] a folga de corte ideal é uma relação de compromisso entre a qualidade de corte e esforço de corte. Podemos concluir que a folga de corte contribui também para o desgaste do punção e da matriz, pois quanto menor a folga, maior a força necessária para o corte. Em cortes com folgas pequenas o desgaste será maior, pois após o corte o material restante da chapa tende a fechar-se sobre o punção [...].

2.8 Evolução do curso do punção

A seção de corte é definida também pela folga de corte utilizada: “A dimensão conjunta das zonas de repuchamento e penetração dependem fundamentalmente do valor da folga ideal e das características mecânicas do material.” (RODRIGUES; MARTINS, 2005, p 200)

A Tabela 1 apresenta a ordem de grandeza da dimensão desta penetração para diferentes materiais, obtidos para valores de folga ideal.

A análise dos valores indicados na tabela deixa antever que para materiais muito dúcteis o aumento da força de corte, até o aparecimento das fissuras, será mais gradual, já que o máximo da força de corte é alcançado para uma maior penetração. Nos materiais menos dúcteis a força de corte cai praticamente a zero após se ter atingido o final da zona de penetração (RODRIGUES; MARTINS, 2005)

Tabela 1 - Dimensão conjunta do repuchamento e da penetração, para valores de folga ideal (valores em porcentagem da espessura).

Material	Espessura da banda	
	Até 4 mm	Superior a 4 mm
Aço		
Macio	45~60	35~45
Medio	35~50	20~35
Duro	20~35	10~20
Alumínio		
Macio	45~65	45
Duro	30~50	30
Latão		
Macio	50~60	50
Duro	20~30	20
Cobre	55	
Bronze	25	
Níquel	55	

Fonte: Müller (2012, p. 38)

2.9 Folga de corte unilateral

De acordo com Rodrigues e Martins (2005), a folga de corte é a diferença de cotas entre as superfícies laterais do punção e da matriz da ferramenta.

A Figura 18 mostra, esquematicamente, a folga entre o punção e matriz, juntamente com as principais dimensões que compõem a ferramenta de corte.

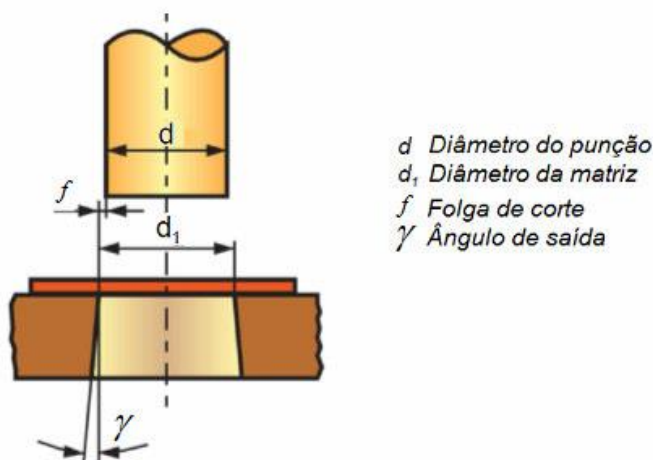


Figura 18 - Representação da folga e das principais dimensões da ferramenta de corte.

Fonte: Müller (2012, p. 38)

A folga ideal é certamente a variável mais importante para construção de uma ferramenta de corte. A influência da folga não se reduz somente à alteração da morfologia da superfície cortada. O seu valor afeta igualmente o valor máximo e a evolução da força de corte durante a penetração do punção. A folga ideal corresponde àquela que consome o mínimo de energia (RODRIGUES; MARTINS, 2005)

A forma de se especificar a folga de corte varia, sendo que algumas literaturas citam a possibilidade de que para materiais macios e de pequenas espessuras, esta praticamente não deve existir. Normalmente, fala-se em folgas menores (4% da espessura) para metais

mais moles como latão e alumínio, e até 10% para aços mais resistentes, como aço inox (SOUZA, 2001).

Os valores da folga ideal encontram-se normalmente tabelados. A Tabela 2 apresenta, para os materiais mais usados, os valores da folga por lado em porcentagem da espessura da chapa a usar, para se obter superfícies com a morfologia representada na Figura 21.

Tabela 2 - Folgas por lado em função do material e do tipo de superfície a obter, conforme morfologia ilustrada na Figura 23.

Material	Folga (% da espessura da chapa)				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Aço elevado teor de carbono	23	18	15	12	-
Aço macio	21	12	9	6.5	2
Aço inoxidável	23	13	10	4	1.5
Cobre					
Duro	25	11	4	3.5	1.25
Macio	26	8	6	3	0.75
Bronze fosforoso	25	13	11	4.5	2.5
Latão					
Duro	24	10	7	4	0.8
Macio	21	9	6	2.5	1
Alumínio					
Duro	20	15	10	6	1
Macio	17	9	7	3	1
Magnésio	16	6	4	2	0.75
Chumbo	22	9	7	5	2.5

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 217)

Através de diagramas, conforme mostrado na Figura 19, também é possível determinar facilmente a requerida folga para a operação de corte de chapas.

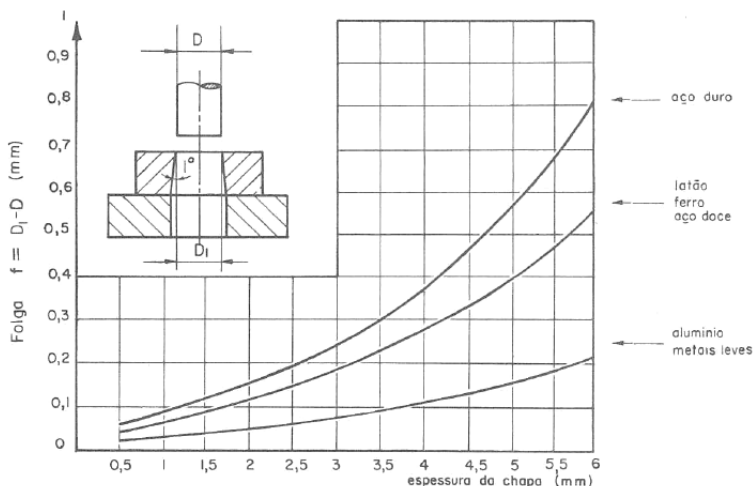


Figura 19 - Gráfico para determinação da folga entre punção e matriz, em função do tipo de material e da espessura da chapa.

Fonte: Müller (2012, p. 40)

De acordo com Souza (2001), o valor da folga entre punção e matriz é bem menor que a espessura da chapa. Portanto, o corte ocorre por meio de tensões de corte que se distribuem pela espessura da peça ao longo do perímetro do contorno de cisalhamento puro, conforme Figura 20.

Para que ocorra o corte através de tensões, Müller (2012, p. 33) afirma que:

Este modelo de análise pressupõe que as ferramentas possuam arestas bem afiadas e o momento fletor desenvolvido na fase inicial do corte tende a empenar a chapa, levando as forças de corte atuar concentradas ao longo das arestas de corte, de tal modo que somente o material na zona da folga irá sofrer deformação plástica.

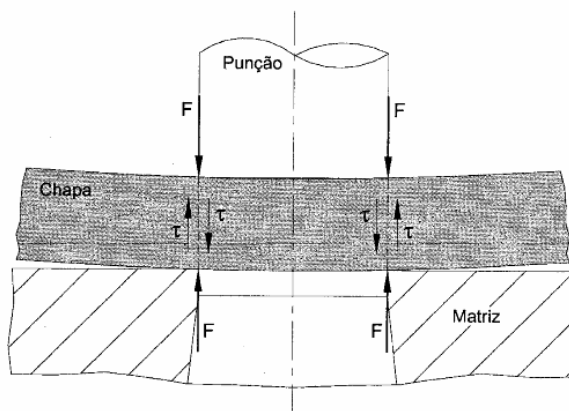


Figura 20 - Representação esquemática do modelo adotado para estudo do corte por cisalhamento.

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 189)

2.10 Qualidade de acabamento na seção de corte

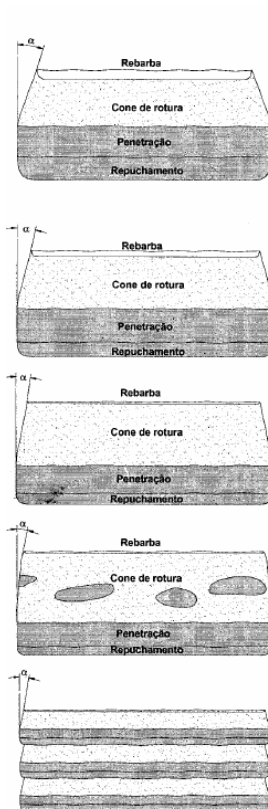
A seção de corte por cisalhamento possui uma morfologia obtida através dos parâmetros utilizados no processo de estampagem. Rodrigues e Martins (2005, p.213) afirmam:

Todavia, este tipo de superfície cortada obtém-se para valores de folga que dependem das características mecânicas do material, da geometria e do estado de conservação das ferramentas, designada habitualmente por folga ideal e cujo valor se encontra tabelado.

Os autores também sugerem que seja analisado o tipo de acabamento na superfície de corte quando a folga da ferramenta for menor que a folga de ideal de trabalho. Utilizando uma folga menor que a folga ideal, a penetração do punção será menor para adquirir a distorção máxima do material, ocasionando o surgimento e a propagação de fissuras mais cedo.

Acontecendo isso, a propagação das fissuras acabará e, com o avanço do punção, reinicia-se uma nova faixa de deformação plástica com o surgimento de uma segunda zona de repuchamento/penetração,

seguida de fratura. Esse processo ira acontecer até que as fissuras se encontrarem e proporcionem a separação da peça com a tira. “A influência da folga não se reduz a alteração da morfologia da superfície cortada, o seu valor afeta igualmente o valor máximo e a própria evolução da força de corte com a penetração do punção” (RODRIGUES; MARTINS, 2005, p 214).



Tipo I

Este tipo de superfície é geralmente obtido quando se trabalha no limite superior das folgas utilizáveis, ou seja, quando o uso da ferramenta é prolongado até ao máximo admissível. Apresentam um repuchamento grande, um cone de rotura muito aberto e uma rebarba importante. Estas superfícies são somente permitidas em trabalhos de pouca precisão ou em operações em que o repuchamento e a rebarba não afectem a utilização da peça.

Tipo II

A superfície de corte caracteriza-se por ter um elevado repuchamento e um cone de rotura de abertura média. Está geralmente associada a folgas a que corresponde o máximo da vida da ferramenta, produzindo ainda peças aceitáveis para a generalidade das aplicações.

Tipo III

Corresponde à folga ideal. A superfície apresenta um equilíbrio entre as diferentes zonas, podendo considerar-se a mais perfeita.

Tipo IV

Aconselhada para peças que irão sofrer operações de acabamento, como seja o 'shaving' ou aparamento.

Tipo V

As folgas que conduzem a este tipo de superfície provocam, geralmente, uma menor vida da ferramenta, em especial no caso de materiais duros. Podem, no entanto, ser adequadas para materiais macios com sejam o latão, chumbo, alumínio ou cobre macio.

Figura 21 - Morfologia da superfície cortada em função do valor da folga entre o punção e a matriz.

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 216)

2.11 Força e energia de corte

Durante a formação do repuchamento, e ao longo da fase de penetração, verificam-se simultaneamente dois fenômenos que

determinam a evolução da força de corte. Com a penetração do punção, a seção resistente vai diminuindo e ao mesmo tempo o material vai encruando devido à deformação plástica crescente. A força de corte vai aumentando gradualmente pelo fato do encruamento prevalecer sobre a diminuição da seção resistente, até que seja alcançado um valor máximo (Figura 22).

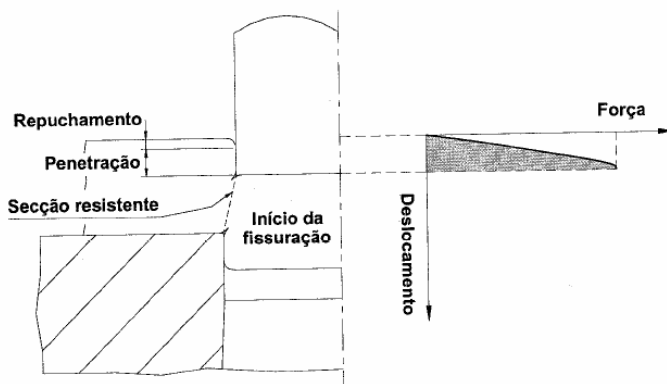


Figura 22 - Evolução da força de corte com o deslocamento do punção, durante as fases de repuchamento e penetração.
Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 200)

Alcançado o valor máximo*, inicia-se a fissuração junto das arestas do punção e da matriz. A partir deste instante, a força de corte decresce bruscamente em virtude da rápida diminuição da seção de corte. A estabilização final deve-se ao atrito entre as ferramentas e o material durante a fase de extração.

* A abordagem mais simples e mais utilizada para o cálculo da força máxima de corte é multiplicar a tensão de ruptura ao cisalhamento pela área a ser cisalhada.

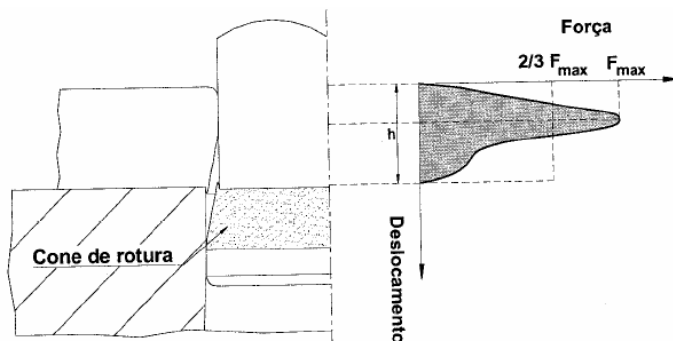


Figura 23 - Evolução da força de corte com o deslocamento do punção no corte por cisalhamento.

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 200)

As forças envolvidas no processo de corte são altas, especialmente em materiais com alta resistência mecânica. A determinação do valor máximo da força de corte é importante para a escolha adequada das máquinas ferramenta, como para o projeto das ferramentas e para o estudo da disposição dos punções e das matrizes. Para Souza (2001), a abordagem mais simples e mais utilizada para o cálculo da força máxima de corte é multiplicar a tensão de ruptura ao cisalhamento pela área a ser cisalhada, ou seja:

$$F_c = \tau_c A_c$$

onde (F_c) é a força de corte, (τ_c) é a tensão de ruptura do material quando submetido ao cisalhamento e (A_c) é a área a ser cisalhada, calculada por:

$$A_c = l_s s$$

onde (l_s) é o perímetro ou comprimento de corte e (s) é a espessura da chapa, conforme o exemplo da Figura 24.

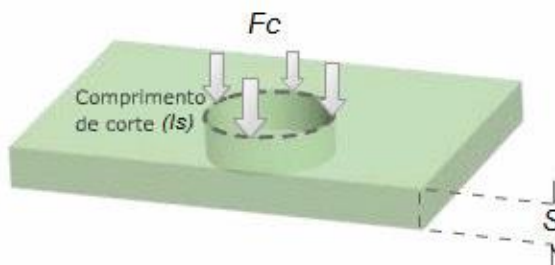


Figura 24 - Representação da área a ser cisalhada de uma peça com furo.
Fonte: Müller (2012, p. 44)

A Tabela 3 abaixo mostra alguns valores orientativos de tensão de ruptura ao cisalhamento (τ_c) para alguns materiais.

Tabela 3 - Tensão de ruptura ao cisalhamento para diferentes materiais.

Material		Tensão de ruptura ao corte τ_c (MPa)
Folha de estanho laminada		35.0
Zinco	Chapa laminada	124.0
	Laminado	138.0
Cobre		175.0
Latão		240.0
Bronze		242.0
Alumínio	Macio	69.0
	Meio duro	138.0-207.0
	Duro	276.0
Aço	0.1% carbono, laminado a quente	241.0
	0.1% carbono, laminado a frio	310.0
	0.2% carbono, laminado a quente	310.0
	0.2% carbono, laminado a frio	380.0
	0.3% carbono, laminado a quente	380.0
	0.3% carbono, laminado a frio	450.0
Aço inoxidável		480-690
Aço de liga		520-590

Fonte: Rodrigues; Martins (2005, p. 217)

2.12 Controle do processo de estampagem

O processo de estampagem é controlado por diversos fatores de origem mecânica e metalúrgica. Para os fatores mecânicos, Bresciani (2011, p. 74) comenta que: “[...] Entre os fatores de natureza mecânica pode-se mencionar: a forma e as dimensões da peça, a máquina de conformação[...], a forma e dimensões das ferramentas[...] e as condições de lubrificação.”

Já para os metalúrgicos, Bresciani (2011, p. 74) comenta que:

Os fatores da natureza metalúrgica, relacionados ao material da peça, são a sua composição química e a sua estrutura, fatores estes que dependem, por sua vez, dos processos de fabricação e de laminação associados aos tratamentos térmicos de recozimento, que afetam as propriedades mecânicas do material da chapa que são de importância fundamental em seu comportamento na estampagem.

2.13 Aço carbono ABNT 1010

Segundo Boff (2012, p. 27), o aço ABNT 1010 “[...] possui um baixo teor de carbono [...] podendo ser aplicado em diversos segmentos, como na indústria automobilística, perfis industriais, construção civil etc..”

São aços que não possuem adição de elementos de liga na intenção de melhorar as suas propriedades e o custo de produção é baixo (BOFF, 2012).

Tabela 4 - Composição química do aço ABNT 1010

	C(%)	Mn(%)	Si(%)	S(máx)	P(máx)
ABNT 1020	0,08 ~ 0,13	0,30 ~ 1,00	0,10 ~ 0,20	0,05	0,04

Fonte: o autor (2014)

Tabela 5 - Propriedades mecânicas do aço ABNT 1010

Características mecânicas	Limite de escoamento (Mpa)	Limite de resistência (Mpa)	Alongamento (%min).
ABNT 1020	320	270 - 390	26

Fonte: o autor (2014)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Tendo como objetivo apresentar resultados de diferentes acabamentos na seção de corte de uma chapa estampada, possibilitando a análise da melhor combinação de parâmetros de estampagem que irá resultar no melhor acabamento, e não sabendo qual parâmetro mais influencia no acabamento foi desenvolvido um estampo didático e variados alguns parâmetros.

A ferramenta didática, conforme Figura 25 e Figura 26, é constituída de um conjunto base, cabeçote e colunas padrão e estampos Tico-tico. Isso garantiu menor tempo de fabricação e maior robustez do sistema, pois o mesmo utiliza colunas e buchas temperadas guiadas por gaiolas de esferas, o que aumenta a precisão de movimento.

Com a definição do conjunto base e cabeçote, foram projetados os outros elementos que fazem parte da nomenclatura do estampo que são matriz, guia, punções e placa de choque. Todas as peças são fabricadas em VC-131, um aço ferramenta muito utilizado em estampos de corte. Já a dureza da matriz e dos punções ficou definida em 55-58 HRC.

As geometrias de corte e os pinos guias, que vão garantir a centralização da ferramenta, foram cortados em um só processo aumentando a centralização. Já o processo utilizado para cortar as geometrias foi o processo de usinagem por eletroerosão a fio.

A chapa utilizada para os testes será uma chapa de aço carbono 1010 com espessura de 1,5mm e largura de 42 mm.

A folga deixada entre os punções e o guia foi definida em 0,005 mm por lado, folga essa utilizada como padrão nos estampos da WEG. As folgas de corte que serão analisadas serão 0,02 - 0,04 e 0,07mm por lado, iniciando em 0,02mm para maior agilidade e menos custo de fabricação.

Outro parâmetro que será alterado para análise de acabamento de corte é o sobre metal deixado por um pré-corte, situação que alavancou o desenvolvimento deste trabalho. O objetivo geral é saber se a dimensão do pré-corte influencia no acabamento. No estampo haverá duas situação de pré-corte, no terceiro passe da ferramenta o sobre metal deixado pelo pré-corte e de 5mm por lado , e no quarto e último estágio da ferramenta o sobre metal é de 2mm por lado.

O passe da ferramenta será dado por um punção denominado faca de avanço, que se encontra no primeiro estágio da ferramenta. Esse

punção irá definir o passe e garantir precisão no deslocamento de avanço da chapa e centralização entre os estágios.

Sendo assim, os testes serão feitos variando as folgas de corte (0,02 – 0,04 – 0,07mm) em três situações de corte. No segundo passe da ferramenta não existe pré-corte, ou seja, uma estampagem comum. No terceiro passe existe um sobre metal de 5mm por lado e o quarto passe possui um sobre metal de 2mm por lado. Serão realizadas dez amostras para cada folga de corte. As chapas estampadas serão analisadas em microscópio com escala e captadas fotos ampliadas da seção de corte. Com esse procedimento, será possível analisar as dimensões das fases de corte na chapa deixada por situação.

3.1 Aplicação

Os testes com a ferramenta foram realizados na ferramentaria da WEG S/A em Jaraguá do Sul – SC, a qual possui uma prensa hidráulica que será utilizada para os testes.

A análise da chapa estampada foi executada no laboratório de Pesquisa e desenvolvimento da WEG.

3.2 Materiais utilizados

A chapa foi estampada por uma ferramenta de projeto próprio do autor. Sua concepção é a mais simples possível para não tomar muito tempo na sua execução. Foram aproveitadas peças padrão de uso interno para acelerar ainda mais a fabricação. Com relação à centralização, o projeto e a forma de executar as usinagens garantem a centralização entre o guia e a matriz para não haver folgas diferenciadas em alguma face de corte.

Antes de iniciar a fabricação do estampo didático foi projetada a ferramenta em software 3D, o software o qual foi utilizado é Solid Edge disponibilizado pela seção de projetos do departamento de ferramentaria. Através do projeto 3D foram extraídos os desenhos 2D os quais auxiliarão na fabricação das peças.

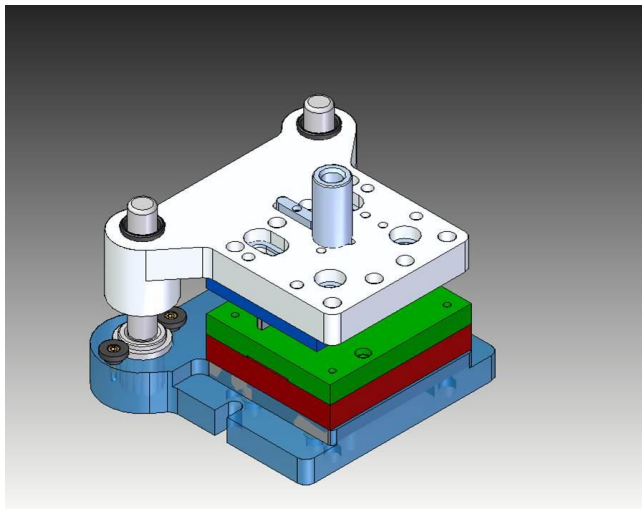


Figura 25 - Projeto da ferramenta

Fonte: o autor (2014)

A Figura 26 representa a ferramenta fabricada e montada, é possível observar a chapa entre a ferramenta. O conjunto base e cabeçote são peças padronizadas de uso interno da empresa. O cabeçote é fabricado em alumínio e a base em ferro fundido. O conjunto base e cabeçote é centralizado por colunas de aço temperado com gaiolas esféricas possibilitando rigidez e precisão de deslocamento no da estampagem.



Figura 26 - Estampo didático

Fonte: o autor (2014)

A prensa utilizada para os testes é uma prensa hidráulica de fabricação própria da ferramentaria da WEG (Figura 27). Ela tem como principal função testar o fechamento de moldes de injeção de plástico e alumínio. A prensa possui uma velocidade de avanço de 20mm/s e a força que o cilindro atua no cabeçote móvel chega a 60 t. A abertura entre colunas é de 1300mm. O cabeçote móvel possui um deslocamento de 1200mm.



Figura 27 - Prensa Hidráulica
Fonte: o autor (2014)

Para a análise da chapa, foi necessário fazer uso de um microscópio da marca Reichert, modelo Polyvar 2, com aumento de 45-2000 vezes, representado na Figura 28. Para a análise das fases constituintes de forma quantitativa foi utilizado o software da Metalab disponibilizado pelo laboratório de ensaio e pesquisa da empresa WEG S.A.

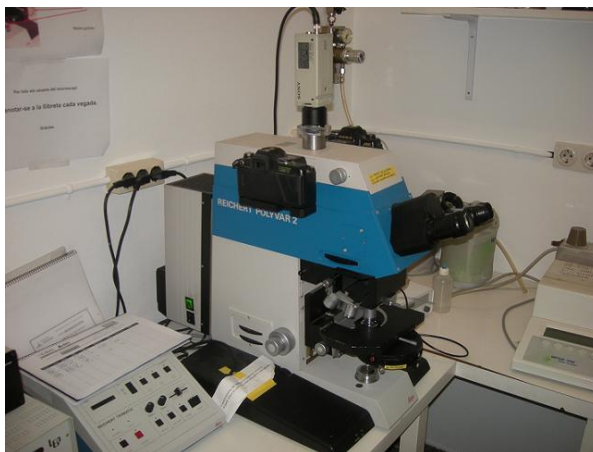


Figura 28 - Microscópio Reichert

Fonte: o autor (2014)

A seguir, na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, apresenta como cada amostra foi denominada. A descrição da amostra é formada por um número, pela primeira letra que define a folga de corte utilizada e uma segunda letra para a situação da estampagem (dimensão do perfil/pré-corte).

As imagens foram coletadas por meio de microscópio com aumento de 45 vezes. Foram analisadas três dimensões (áreas): repuchamento, penetração e cone de ruptura. O dimensionamento da rebarba não foi possível ser mensurado devido à forma como foi analisada a chapa estampada.

Tabela 6 - Identificação das chapas estampadas

FOLGA/PUNÇÃO	12x20	22x30 SEM PRÉ CORTE	26x34 SEM PRÉ CORTE	22x30 COM PRÉ CORTE	26x34 COM PRÉ CORTE
0,07 A	A	B	C	D	E
0,04 B	A	B	C	D	E
0,02 C	A	B	C	D	E

Fonte: o autor (2014)

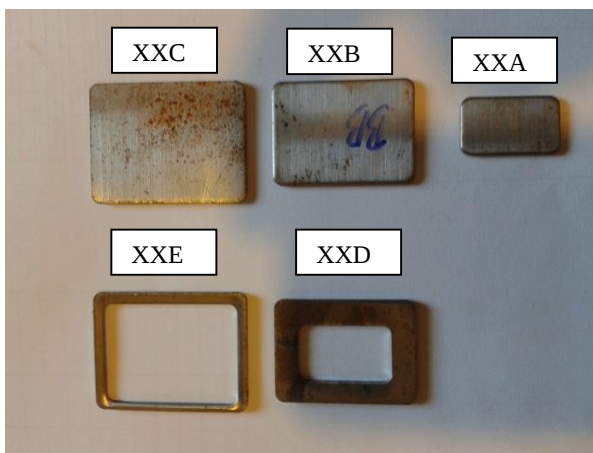


Figura 29 - Tipos de *blank* estampados
Fonte: o autor (2014)

As **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** estão representando a diferença entre o *blank* com e sem pré-corte. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o sobre metal é de 2 mm por lado e as dimensões externas do *blank* são de 26x34mm. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o sobre metal é de 5 mm por lado e as dimensões externas do *blank* são de 22x30mm.

Para melhor mensurar o tamanho dos *blanks* foi adicionado na captura das imagens uma lapiseira, a qual permite comparar a dimensão do *blank* com relação a lapiseira.



Figura 30 - Sobre metal de 2mm por lado
Fonte: o autor (2014)



Figura 31 - Sobre metal de 5mm por lado
Fonte: o autor (2014)

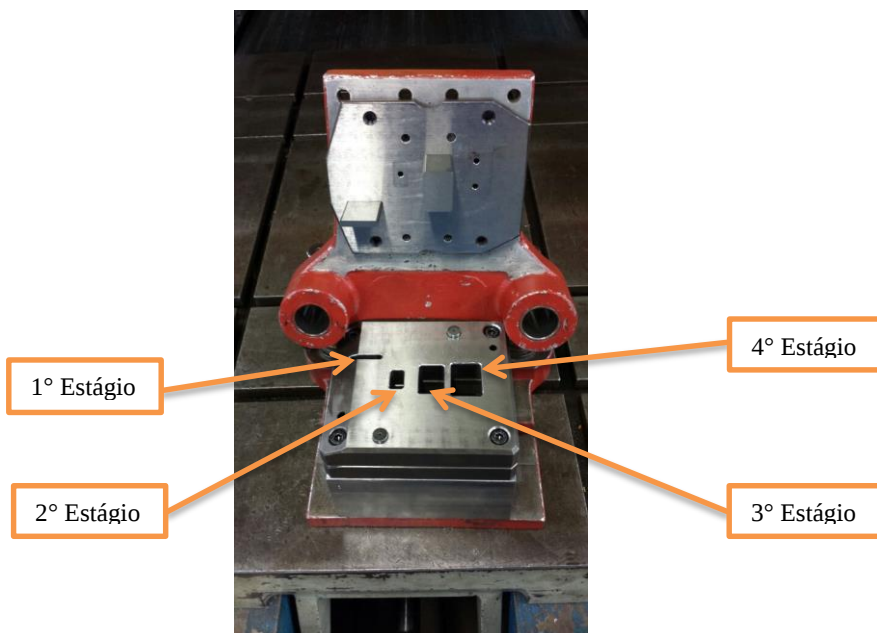


Figura 32 - Disposição dos punções

Fonte: o autor (2014)

Cada perfil de corte é posicionado na ferramenta conforme o seu passo (quanto a tira avança a cada estampada), apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada..** No caso dessa ferramenta, o passo é de 30 mm, definido pelo punção que está no 1º estágio.

No 2º estágio, está posicionado o punção com perfil de 12x20mm. Ele é responsável por estampar o *blank* que possui a letra A no último caractere da denominação das chapas estampadas, por exemplo: 1AA. Esse punção é responsável também por fazer o pré-corte para o seguinte estágio.

Para o 3º estágio, temos o punção com perfil de 22x30mm. Nesse estágio é estampado *blank* com pré-corte de 5 mm, material deixado pelo 2º estágio. Esse *blank* possui a letra D no último caractere da denominação das chapas. Fazendo a retirada dos punções do 2º e 4º estágios, pode ser estampado *blank* sem pré-corte, o qual possui a letra B no último caractere .

Já no 4º e último estágio da ferramenta, encontra-se o punção com perfil de 26x34mm, no qual é realizado o corte tendo como sobre metal 2 mm - material deixado pelo 3º estágio. Esse *blank* é

denominado com a letra E no último caractere. Fazendo a retirada dos punções do 2º e 3º estágio, o *blank* é estampado sem pré-corte, classificado com a letra C no último caractere.

Após a estampagem das amostras de chapas, foram coletadas imagens das seções de corte deixadas por cada folga. O *software* responsável pela captura das imagens permitia ainda o dimensionamento de cada área deixada pelo processo na seção estampada.

Dando sequência à fase experimental, foram compilados os dados fornecidos pelas imagens em uma tabela para cada folga utilizada e tipo de *blank*, conforme apresentado na Para facilitar a visualização dos dados coletados, foram gerados gráficos através das dimensões extraídas das tabelas. Como o maior interesse deste estudo está voltado à área da deformação plástica, vamos discutir os resultados para esses valores.

Tabela 8.

Nela são encontrados três tipos de medidas: média do raio, medida da deformação plástica e medida da ruptura.

Tabela 7 - Forças de corte

PUNÇÃO	LARGURA mm	COMPRIMENTO mm	PERIMETRO mm	ESPESSURA mm	RESISTENCIA O CISALHAMENTO Kgf/mm ² PARA AÇO 0,2% C	FORÇA DE CORTE kgf
A	12	20	64	1,5	40	3840
B	22	30	104	1,5	40	6240
C	26	34	120	1,5	40	7200
FACA DE AVANÇO	5	30	70	1,5	40	4200
TOTAL						21480

Fonte: o autor (2014)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos através da estampagem por meio da ferramenta didática. Foram realizados três testes, sendo que para cada ensaio foi alterada a folga de corte. No primeiro teste, foi utilizada uma folga de corte de 0,02mm por lado, para o segundo, uma folga de corte de 0,04mm e, para o terceiro e último, uma folga de corte de 0,07mm.

Para cada perfil estampado foram coletadas 5 amostras. Nos perfis onde era feito o pré-corte foram coletadas amostras com e sem pré-corte.

4.1 Folga de corte de 0,07mm

Para facilitar a visualização dos dados coletados, foram gerados gráficos através das dimensões extraídas das tabelas. Como o maior interesse deste estudo está voltado à área da deformação plástica, vamos discutir os resultados para esses valores.

Tabela 8 - Medidas para folga de 0,07

A - FOLGA 0,07			
	MEDIDA DO RAI0	MEDIDA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	MEDIDA DA RUPTURA
1AA	0,14642	0,88546	0,443,01
2AA	0,1225	0,88119	0,44239
3AA	0,1259	0,87075	0,45238
4AA	0,13644	0,87761	0,43878
5AA	0,1361	0,92177	0,42517
MÉDIA AA	0,133472	0,887356	0,43968
1AB	0,17716	0,626	0,6769
2AB	0,1395	0,56472	0,75182
3AB	0,14626	0,65314	0,64627
4AB	0,17007	0,87439	0,43203
5AB	0,1293	0,88452	0,42858
MÉDIA AB	0,152458	0,720554	0,58712
1AC	0,12925	0,39809	0,91167
2AC	0,16667	0,46618	0,82007
3AC	0,14981	0,64966	0,65338
4AC	0,13946	0,38437	0,90817
5AC	0,15986	0,40159	0,89819
MÉDIA AC	0,14901	0,459978	0,838296
1AD	0,1735	1,10927	0,1735
2AD	0,18711	1,02168	0,24832
3AD	0,14626	1,08887	0,19728
4AD	0,16358	1,07143	0,21472
5AD	0,14302	1,08908	0,22513
MÉDIA AD	0,162694	1,076066	0,21179
1AE	0,15679	0,81658	0,41158
2AE	0,19048	0,79252	0,42858
3AE	0,22111	1,0109	0,2381
4AE	0,1769	0,82994	0,40489
5AE	0,18707	0,8165	0,42863
MÉDIA AE	0,18647	0,853288	0,382356

Fonte: o autor (2014)

No Gráfico 1, podemos observar que à medida que o perímetro do *blank* aumenta, a área da deformação plástica diminui, considerando os *blanks*: AA, AB e AC. Isso provavelmente é proveniente do aumento da seção transversal do componente, não da área de corte, de forma que a flexão aplicada ao componente altera o estado de tensão na região do corte.

Isto também é uma das possibilidades de melhoria na seção de corte quando é aplicado o pré-corte, pois observa-se, para ambos os casos, que a região de deformação foi mais significativa que nos cortes sem o referido pré-corte.

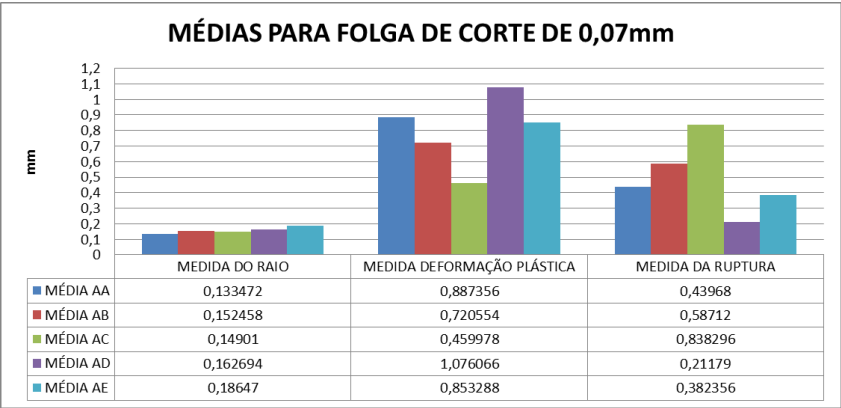


Gráfico 1 - Médias para folga de 0,07mm
Fonte: o autor (2014)

Fazendo a análise dos resultados dos *blanks* AB (Figura 33) e a comparação com o *blank* AD (Figura 34), eles possuem o mesmo perímetro de corte e a variação entre os dois é o pré-corte com sobre metal de 5 mm. É evidente o aumento de área na deformação plástica, o qual foi de 49%.

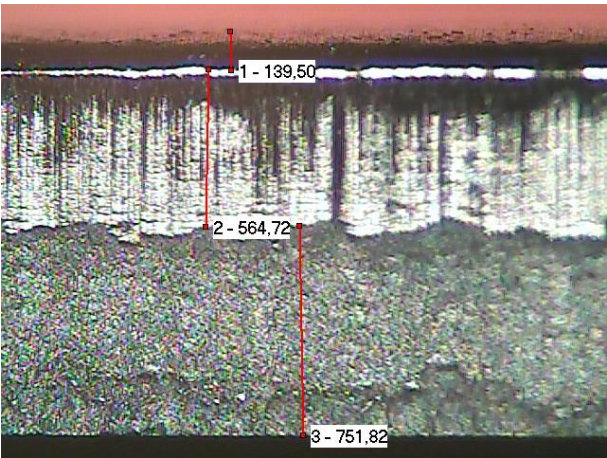


Figura 33 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte sem pré corte (4AB).

Fonte: o autor (2014)

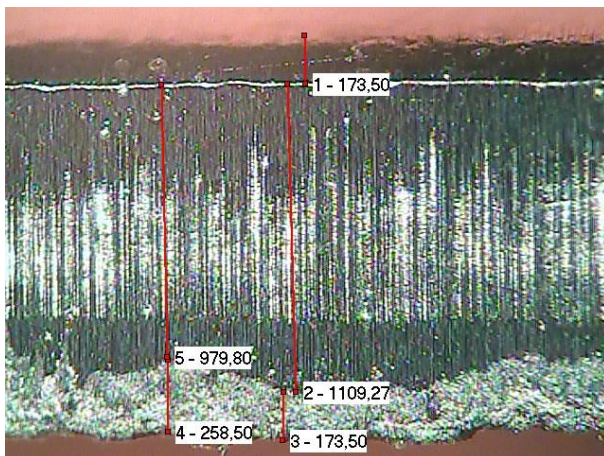


Figura 34 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte com pré-corte/sobre metal de 5mm por lado (1AD).

Fonte: o autor (2014)

Para a situação dos *blanks* AC (Figura 35) e AE (Figura 36), onde o sobre metal é de 2mm, o aumento de deformação plástica é ainda maior com ganho de 85%.

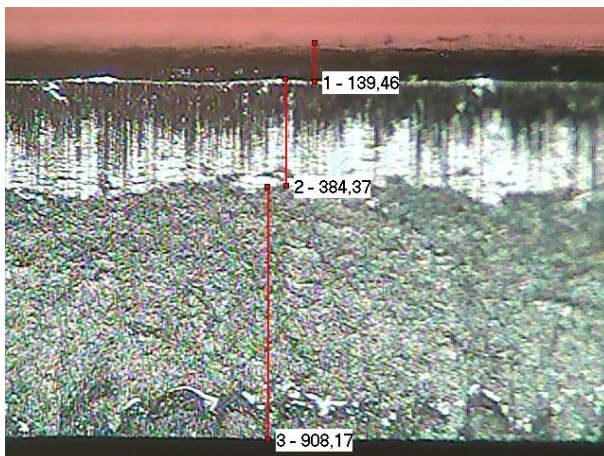


Figura 35 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte sem pré-corte (4AC).

Fonte: o autor (2014)

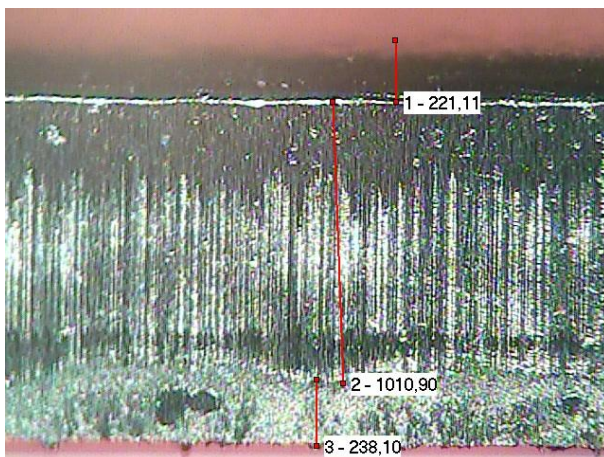


Figura 36 - Seção de corte com 0,07 de folga de corte com pré-corte/sobre metal de 2mm por lado (3AE).

Fonte: o autor (2014)

4.2 Folga de corte 0,04mm

Com base no Gráfico 2, pode-se comentar que a área deformada diminui com relação ao aumento de força de corte. Para esse ensaio temos a folga de 0,04mm, sendo que essa folga já é considerada uma folga menor que o recomendado para o material, resultando assim em melhores acabamentos na seção de corte, mas também possibilitando maior desgaste dos elementos cortantes.

Tabela 9 - Medida para folga de corte 0,04

B - FOLGA 0,04			
	MEDIDA DO RAIOS	MEDIDA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	MEDIDA DA RUPTURA
1BA	0,10204	0,96288	0,38777
2BA	0,1259	0,9422	0,38777
3BA	0,14302	0,91499	0,40159
4BA	0,1259	0,92888	0,39479
5BA	0,0987	0,90517	0,44621
MÉDIA BA	0,119112	0,930824	0,403626
1BB	0,13265	0,85717	0,466
2BB	0,14286	0,6158	0,68048
3BB	0,1225	0,92177	0,39574
4BB	0,10204	0,9422	0,39117
5BB	0,12585	0,96944	0,38441
MÉDIA BB	0,12518	0,861276	0,46356
1BC	0,1259	1,07824	0,2415
2BC	0,1395	0,36735	0,90848
3BC	0,1463	0,35374	0,91499
4BC	0,14322	1,03744	0,25172
5BC	0,1361	0,36069	0,9252
MÉDIA BC	0,138204	0,639492	0,648378
1BD	0,1701	1,11243	0,1838
2BD	0,1633	1,05469	0,19731
3BD	0,14286	1,08846	0,19048
4BD	0,13946	1,06803	0,20419
5BD	0,1531	1,04082	0,22792
MÉDIA BD	0,153764	1,072886	0,20074
1BE	0,25172	1,08844	0,1293
2BE	0,21088	0,99334	0,23132
3BE	0,18711	0,97962	0,24159
4BE	0,24152	0,98985	0,23812
5BE	0,23472	0,97648	0,24528
MÉDIA BE	0,22519	1,005546	0,217122

Fonte: o autor (2014)

Pela análise dos *blanks* com e sem pré-corte, manteve-se o aumento da área deformada.

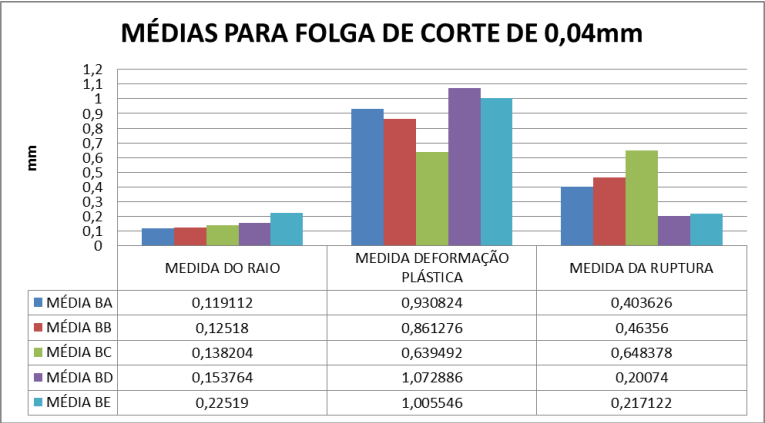


Gráfico 2 - Médias para folga de corte 0,04mm
Fonte: o autor (2014)

Comparando os blanks BB (Figura 37) e BD (Figura 38), que possuem como variável o pré-corte com sobre metal de 5mm, o aumento da área deformada foi de 24%.

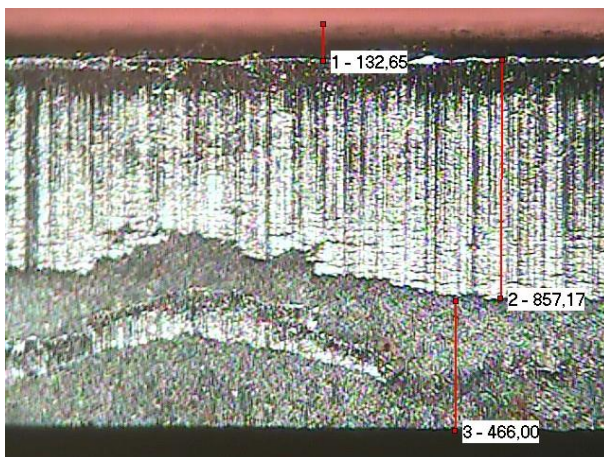


Figura 37 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte sem pré-corte (4BB)

Fonte: o autor (2014)

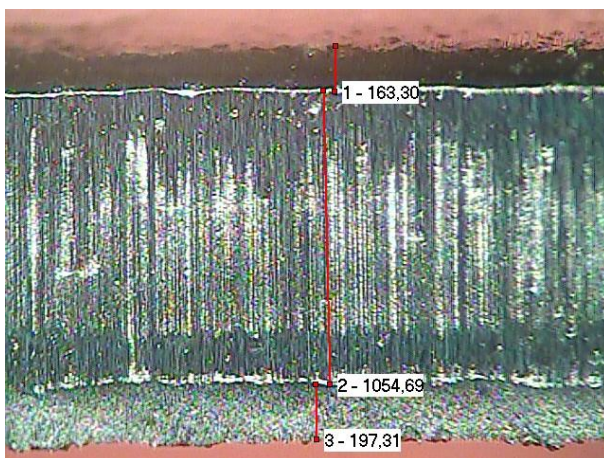


Figura 38 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte com pré-corte/sobre metal de 5mm por lado (2BD)

Fonte: o autor (2014)

Para a situação dos *blanks* BC (Figura 39) e BE (Figura 40), nos quais o sobre metal no pré-corte é de 2mm, o aumento na área deformada é 57%. A seguir, as imagens afirmam as colocações acima.

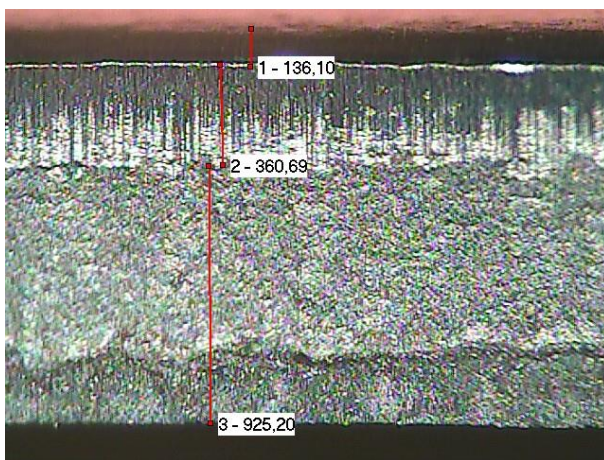


Figura 39 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte sem pré-corte (5BC)

Fonte: o autor (2014)

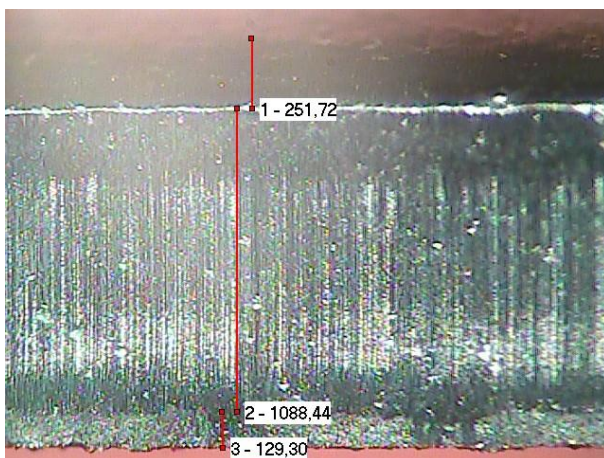


Figura 40 - Seção de corte com 0,04 de folga de corte com pré-corte/sobre metal de 2mm por lado (2BE).

Fonte: o autor (2014)

4.3 Folga de corte 0,02mm

Para os testes nos quais foram utilizadas folgas de corte de 0,02mm, não foram possíveis as estampagens dos *blanks* tipos CB e CC, uma vez que não se planejou a realização dos cortes cheios no início dos ensaios. Após a realização dos primeiros ensaios, foi constatada a necessidade da realização do corte pleno para os punções XXB e XXC, mas, por falta de tempo, não foi possível recuperar a matriz para que fosse possível estampar com folga de 0,02mm novamente.

Para a análise dos *blanks* com folga de 0,02mm, no entanto, podemos compará-los com os *blanks* BD, BE, AD e AE. Esses *blanks* têm com as mesmas características, variando então a folga de corte entre eles.

Pela análise do Gráfico 3, observa-se pouca diferença nas médias das áreas de deformação, o que poderia ser atribuído pelo motivo de se estar utilizando a menor folga entre punção e matriz, reduzindo a tendência à flexão da região removida.

Tabela 10 - Medidas para folga de corte 0,02

C - FOLGA 0,02			
	MEDIDA DO RAIOS	MEDIDA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	MEDIDA DA RUPTURA
1CA	0,08531	1,14628	0,1974
2CA	0,10566	1,08848	0,2587
3CA	0,10204	1,16327	0,21431
4CA	0,1055	1,29256	0,06463
5CA	0,11585	1,19048	0,1534
MÉDIA CA	0,102872	1,176214	0,177688
1CD	0,12585	1,28593	0
2CD	0,17347	1,22791	0,04774
3CD	0,13265	1,2483	0,0308
4CD	0,12925	1,18369	0,09524
5CD	0,11905	1,20069	0,04762
MÉDIA CD	0,136054	1,229304	0,04428
1CE	0,11924	1,2007	0,04435
2CE	0,10204	1,09864	0,1225
3CE	0,10544	1,21429	0
4CE	0,1191	1,21769	0
5CE	0,1361	1,1293	0,07483
MÉDIA CE	0,116384	1,172124	0,048336

Fonte: o autor (2014)

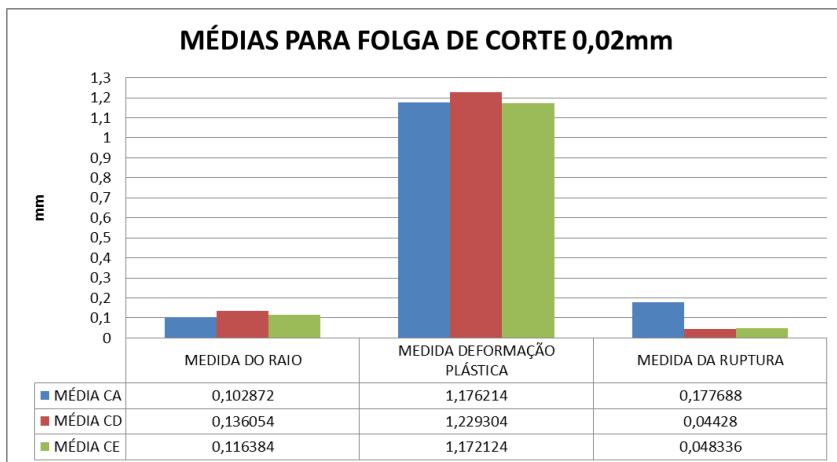


Gráfico 3 - Médias para folga de corte 0,02

Fonte: o autor (2014)

Um processo que se utiliza deste benefício é conhecido na literatura por *shaving*, processo no qual o esforço de corte é atribuído a um método de geração de aparos semelhante ao processo de usinagem.

Apesar das folgas utilizadas serem bem superiores às folgas utilizadas pelo *shaving*, é possível observar uma melhoria no acabamento superficial, com base no aumento da área deformada.

Fazendo a comparação entre o blank CD (Figura 42) com o BD (Figura 38), obteve-se aumento na área da deformação plástica de 14%. Entre CD (Figura 42) e AD (Figura 34), o aumento ficou em 14%.

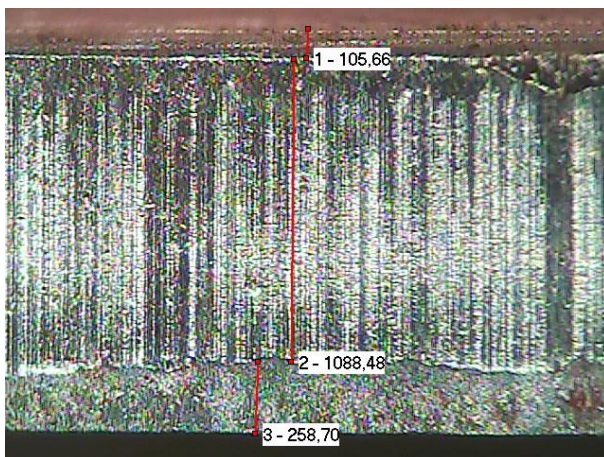


Figura 41 - Seção de corte com 0,02 de folga de corte sem pré-corte (2CA)

Fonte: o autor (2014)

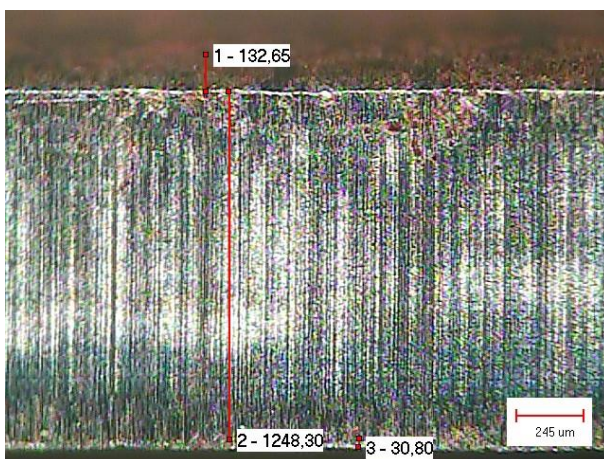


Figura 42 - Seção de corte com 0,02 de folga de corte com pré-corte/sobre metal de 5mm por lado (5CD)

Fonte: o autor (2014)

Analisando o *blank* CE (Figura 43) com BE (Figura 40), a área de deformação plástica aumentou em 16%. Na análise entre CE e AE (Figura 36), esse aumento ficou em 37%.

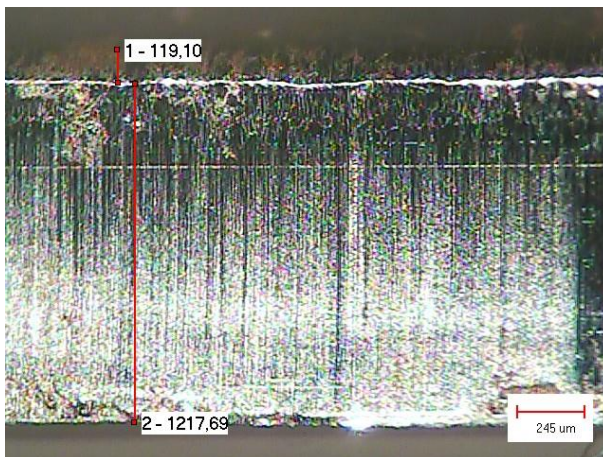


Figura 43 - Seção de corte com 0,02 de folga de corte com pré-corte/sobre metal de 2mm por lado (1CE)
Fonte: o autor (2014)

As imagens acima representam as seções de corte que foram estampadas com 0,02mm de folga de corte. Pode-se observar que nos *blanks* onde foi realizada a estampagem com pré-corte, a seção possui uma grande área de deformação plástica, ou seja, o cisalhamento resulta em uma área brilhosa.

Já para a Figura 41, que apresenta o *blank* 2CA, é possível observar uma pequena área de ruptura, típica de um processo de corte convencional, considerando que a folga de corte está abaixo do que é estimado para a espessura de corte e material da chapa.

4.4 Considerações gerais

Através dos resultados obtidos nos testes, captura de imagens e dimensionamento das áreas nas seções estampadas das chapas metálicas planas, pôde-se comentar algumas colocações que foram percebidas ao longo do estudo.

Tabela 11 - Médias gerais

MÉDIAS			
	MEDIDA DO RAIOS	MEDIDA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	MEDIDA DA RUPTURA
MÉDIA AA	0,133472	0,887356	0,43968
MÉDIA AB	0,152458	0,720554	0,58712
MÉDIA AC	0,14901	0,459978	0,838296
MÉDIA AD	0,162694	1,076066	0,21179
MÉDIA AE	0,18647	0,853288	0,382356
	MEDIDA DO RAIOS	MEDIDA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	MEDIDA DA RUPTURA
MÉDIA BA	0,119112	0,930824	0,403626
MÉDIA BB	0,12518	0,861276	0,46356
MÉDIA BC	0,138204	0,639492	0,648378
MÉDIA BD	0,153764	1,072886	0,20074
MÉDIA BE	0,22519	1,005546	0,217122
	MEDIDA DO RAIOS	MEDIDA DEFORMAÇÃO PLÁSTICA	MEDIDA DA RUPTURA
MÉDIA CA	0,102872	1,176214	0,177688
MÉDIA CB	0	0	0
MÉDIA CC	0	0	0
MÉDIA CD	0,136054	1,229304	0,04428
MÉDIA CE	0,116384	1,172124	0,048336

Fonte: o autor (2014)

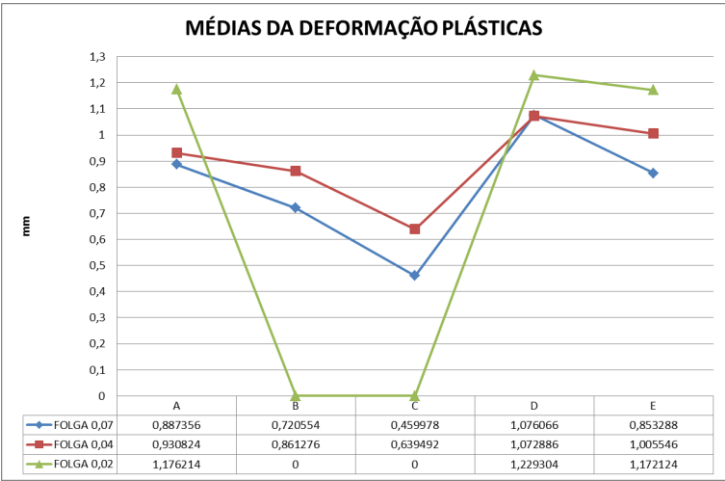


Gráfico 4 - Médias da deformação plástica

Fonte: o autor (2014)

À medida que a folga de corte diminui, as áreas de deformação plástica aumentam, mas o valor da deformação plástica decresce quando se aumenta a força de corte. Esse resultado pode ser analisado através da diminuição da deformação plástica fornecidas pelos punções XB e XC, com referência ao punção XA, que produz a menor força de corte entre os três punções. Essas situações são presentes nas folgas de 0,07mm e 0,04mm, para a folga de 0,02mm não foram estampados *blanks* XB e

XC. Mas quando é estampado *blank* com pré-corte, os valores voltam a aumentar e superam os valores dos *blanks* XA de cada folga.

Fazendo a análise voltada para os *blanks* que possuem pré-corte (XD e XE), foi observado que os *blanks* XD que têm sobre metal de 5 mm, produzirão seções com deformações plásticas maiores que os *blanks* XE que possuem sobre metal de 2mm. Pode ser notado que o caso ocorre para as três folgas de corte, conforme o Gráfico 4.

Para uma chapa ABNT 1010 com espessura de 1,5mm, sendo estampada em uma prensa com velocidade de avanço 20mm/s, os *blanks* com sobre metal de 5mm estampados com folga de corte de 0,02mm apresentaram maiores zonas de deformação plástica.

Conforme analisado na revisão de literatura, a zona de deformação plástica é uma zona que apresenta maior precisão dimensional e acabamento brilhoso caracterizando melhor acabamento. Sendo que em algumas peças estampas existe a necessidade de variar o acabamento da superfície estampada ao longo do perímetro de corte.

A utilização de pré-corte na fabricação de peças estampadas influencia positivamente com relação ao acabamento da seção de corte. Para pré-corte deixando sobre metal de 2mm, quanto para pré-corte deixando sobre metal de 5mm, a melhora do acabamento superficial foi alcançada, aumentando as zonas de deformação plásticas.

5 CONCLUSÃO

Muito se tem avançado, ultimamente, em tecnologia na área metalmeccânica. Os processos e as máquinas sofrem evolução constante em busca de resultados econômicos e ambientais favoráveis.

O processo de estampagem é um assunto promissor para a indústria metalmeccânica pela variedade de peças que podem ser fabricadas. O processo, atualmente, representa uma opção para as empresas que necessitam reduzir os custos com ferramentas e aperfeiçoar o processo de fabricação.

Para isso, sabemos que fornecedores de ferramentas de corte por cisalhamento estão sempre em busca de atender as necessidades de seus clientes com soluções simples, que não aumentem o valor do processo e que atinjam os requisitos estabelecidos nos projetos de cada produto.

Portanto, o que pode ser um requisito de um determinado produto é a necessidade de acabamento na seção de corte diferenciada ao longo de seu perímetro.

O acabamento na seção de corte de peças estampadas em chapas metálicas planas pode ser definido por vários fatores, tais como tipo de material usado, espessura da chapa, conservação da ferramenta, conservação dos elementos cortantes, especificação de folga de corte correta, processo de corte por cisalhamento adotado etc..

Para contribuir com o processo de estampagem mais direcionado para os processos de corte por cisalhamento, foram estudados diferentes parâmetros de estampagem com base em uma técnica denominada *shaving*, que não é muito utilizada e, muitas vezes, é confundida com o processo de corte fino *fine blanking*. Isso enfatiza a importância que esse trabalho tem para o aprimoramento e conhecimento de novas técnicas por meio de ensaios, análises e estudos na literatura específica da área.

Através da ferramenta desenvolvida para que esse estudo fosse possível, foram realizados ensaios que possibilitassem a análise da seção de corte nos *blanks* estampados.

Percebe-se que à medida que a folga de corte diminui, as áreas de deformação plástica aumentam. Isso possivelmente tem relação com a diminuição de flexão do *blank* no momento da estampagem com corte cheio (sem pré-corte).

Levando-se em conta o que foi observado para os *blanks* com pré-corte, relacionados aos *blanks* estampados por corte cheio, com base nos dados coletados acredita-se que o pré-corte exerce influência no acabamento na seção de corte das peças estampadas. A semelhança do processo utilizado nos ensaios com o processo *shaving* direciona os

resultados para a melhora do acabamento. Para a técnica de corte *shaving*, a melhoria no acabamento da seção de corte é dada devido à atribuição de mudanças nas tensões de corte no aparta (sobre metal), no momento da estampagem, diferente do corte convencional que é dado pela área total de estampagem, o que faz com que o *blank* flexione mais ou menos, variando os resultados de estampagem.

Com relação à variação dos pré-cortes deixando sobre metal (apara) diferenciado, as superfícies nas quais foram utilizadas sobre metal de 5mm apresentaram seções de corte com áreas de deformação plástica maiores que os *blanks* estampados com sobre metal de 2mm. Este resultado se manteve para todas as folgas de corte.

Este trabalho, nesse sentido, atinge seu objetivo ao demonstrar análises que contribuem com o processo de estampagem mais voltado ao corte por cisalhamento. Constata-se uma melhoria no acabamento da seção estampada, possibilitando ganho na qualidade da superfície cortada com folgas e sobre metais maiores, com o uso da técnica *shaving*.

Para o desenvolvimento deste trabalho a colaboração da empresa WEG S.A foi muito importante, pois forneceu materiais, máquinas e laboratórios necessários para os testes. Não foi possível recuperar a matriz para que fossem estampados *blanks* com corte cheio utilizando folga de 0,02mm, devido ao tempo disponível para o fechamento do trabalho.

O estudo apresenta uma técnica de estampagem que possibilita melhora no acabamento superficial utilizando folgas de corte maiores que as folgas utilizadas no processo *Shaving*, obteve-se vantagens também no dimensionamento do sobre metal, onde foi analisado que é possível o aumento da área deformada utilizando sobre metal superiores aos usados na técnica *Shaving*, que caracteriza o processo como mais custoso relacionado com o processo de corte convencional.

Levando em conta o que este trabalho disponibiliza para o desenvolvimento de novos estudos relacionados às técnicas de estampagem, em trabalhos futuros podem ser ensaiados pré-cortes com a variação no gume do punção, analisando-se o acabamento para punções com canto vivo, chanfro e raio.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Iralcio Júnior Bastos. **Projeto conceitual de um estampo de corte progressivo para chapas metálicas**. 2012. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Fahor - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2012. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2012/Iralcio_Junior_Bastos_Amorim.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2014.

BOFF, Uilian. **Desenvolvimento do processo de estampagem para miniaturização de motores**. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/70709?locale=pt_BR>. Acesso em: 25 set. 2014.

BRESCIANI Filho, Ettore (coord.); ZAVAGLIA, Cecília Amélia Carvalho; BUTTON, Sérgio Tonini; GOMES, Edson; NERY Fernando Antonio da Costa. **Conformação Plástica dos Metais**. Campinas: Editora da Unicamp, 1997 (5a. edição), 383p. Disponível em: <http://www.ocw.unicamp.br/fileadmin/user_upload/cursos/EM730/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS_comficha.pdf>. Acesso em 17 out. 2014.

BRITO, Osmar de. **Estampos de corte: Técnicas e aplicações**. São Paulo: Hemus, 2004. 185 p.

CETLIN, Paulo Roberto; HELMAN, Horacio. **Fundamentos da conformação: Mecânica dos metais**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2005. 260 p.

CRUZ, Sergio da. **Ferramentas de corte, dobra e repuxo**. São Paulo: Hemus, 2008. 227 p.

MÜLLER, Ricardo Guilherme. **Estudo do processo de corte por cisalhamento rotativo Panambi**. 2012. 125 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2012. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/825/TCC%20Ricardo%20Guilherme%20M%C3%BCller.pdf?sequence=1>>. Acesso 17 out. 2014.

PRO-TEC. ENG. FRANCECSO PROVENZA (Brasil). **Estampos I**. São Paulo: Pro-tec, 1976. 341 p.

QUALINOX (Brasil) (Ed.). **Estamparia de metais**. Disponível em: <<http://www.qualinox.com.br/estamparia-de-metais.htm>>. Acesso em: 26 nov. 2014.

REIS, Leonardo Camilo dos. **Estudo dos parâmetros de influência na simulação numérica de estampagem de chapas**. Dissertação de Mestrado. PPGEM/UFGM. Minas Gerais, 2002. Disponível em: <<http://www.ppgem.eng.ufmg.br/defesas/360M.PDF>>. Acesso em: 17 out. 2014.

SANTOS, Ricardo Adriano dos. **Avaliação de estampabilidade do aço dc05 (din 10152) e validação das deformações verdadeiras obtidas via simulação numérica**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_080_ricardo_adriano_santos.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2014

SOUZA, João Henrique Correa de. **Estudo do Processo de Corte de Chapas por Cisalhamento**. Dissertação de Mestrado. PPGEM/UFRGS. Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2977/000329893.pdf>>. Acesso: 17out. 2014

SOUZA, José Carlos Sávio de. **Avaliação de um modelo matemático para a determinação do coeficiente de atrito no processo de conformação por dobramento**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Projetos e Materiais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2013. Disponível em:<<http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/94390/000756231.pdf?sequence=1>>. Acesso em 11 dez. 2014.

SROUR JUNIOR, Edouard Hassib. **Determinação do grau de conformabilidade de chapa de aço para suporte de coluna de direção e identificação de similar nacional**. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002. Disponível

em: <http://www.pgmecc.ufpr.br/dissertacoes/dissertacao_004.pdf>.
Acesso em: 13 dez. 2014.

RODRIGUES, J. e MARTINS, P. Tecnologia Mecânica – **Tecnologia da Deformação Plástica** - Vol II – Aplicações Industriais. Lisboa: Escolar Editora, 2005.

THÖN, Ivan Lairton. **Desenvolvimento de um Sistema de Hidro conformação em Tubos de Aço**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Panambi - Dezembro de 2006. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/218743145/TCC-Hidroconformacao-Em-Tubos-de-Aco-Ivan-Lairton-Thon#force_seo>. Acesso em: 17 out. 2014.

PORTELLA, Silvano Antonio. **Projeto e construção de um sistema para testes de hidroconformação de chapas**. 2012. 114 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Tecnologia, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2012. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1361/Silvano%20Antonio%20Portella.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 02 nov. 2014.