

**INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL-RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO
MECÂNICA**

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PRÉ-REPUXO NO ACABAMENTO DE
FUROS REPUXADOS**

WELITON COELHO

**JARAGUÁ DO SUL
2016**

WELITON COELHO

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PRÉ-REPUXO NO ACABAMENTO DE
FUROS REPUXADOS**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em
Fabricação Mecânica câmpus Jaraguá do Sul-Rau do Instituto
Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de
tecnólogo em fabricação mecânica

Orientador: Fernando Carlos Dorte

**JARAGUÁ DO SUL
2016**

C672a Coelho, Weliton.

Análise da influência de pré-repuxo no acabamento de furos repuxados / Weliton Coelho ; orientador Fernando Carlos Dorte. - Jaraguá do Sul, SC, 2016.
68 f.

Trabalho de conclusão de curso (TCC) – Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul – Rau. Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

1. Estampagem . 2. Acabamento . 3. Pré-repuxo . I. Dorte, Fernando Carlos. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Título

CDD 671.33

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC

Catalogado por: Cleide Elis da Cruz Raulino CRB14/740

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PRÉ-REPUXO NO ACABAMENTO DE FUIROS REPUXADOS

WELITON COELHO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 24 de fevereiro de 2017



Este trabalho é dedicado à minha família e todos que contribuíram para minha formação.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde e inteligência.

Aos meus pais, pelo incentivo.

À namorada, pela motivação.

Ao professor orientador Fernando Carlos Dorte, pelo aprendizado e companheirismo.

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

À todos os meus professores, que me ajudaram nesta jornada e compartilharam seus conhecimentos, tornando possível criar meu caráter profissional e pessoal.

À todos os colegas da graduação que estiveram junto nesta caminhada.

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

À empresa WEG S.A.

Ao IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul -Rau.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo na área de estampagem, direcionada para acabamento e controle dimensional em furos repuxados em estampos progressivos, e tem como objetivo indicar qual a influência de uma operação de pré-repuxo no acabamento final de furos repuxados e realizar uma análise comparativa entre o aço inox AISI 430 e aço SAE 1006. Para isso, foram analisados o acabamento e o controle dimensional de dois tipos de furos repuxados, para dois materiais diferentes, verificando-se as dimensões com paquímetro digital e analisando o acabamento obtido em cada ensaio em um estereoscópio, objetivando-se constatar relações entre os acabamentos produzidos com a variação do pré-repuxo e o material utilizado na estampagem. Com as imagens e o dimensionamento dos furos repuxados foram calculados os valores médios das alturas, diâmetros internos e externos e espessura da parede, sendo que o maior interesse desse estudo foi voltado em atender as especificações do projeto de fabricação de uma placa estampada.

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

ABSTRACT

This work presents a study in the area of stamping, directed to finishing and dimensional control in holes drawn in progressive stamping, and aims to indicate the influence of a pre-filler operation on the final finishing of drawn holes and to carry out a comparative analysis between The AISI 430 stainless steel and SAE 1006 steel. For this, the finishing and dimensional control of two types of drawn holes were analyzed for two different materials, checking the dimensions with a digital caliper and analyzing the finish obtained in each test in A stereoscope, aiming to verify relations between the finishes produced with the variation of the pre-fuse and the material used in the stamping. The average values of the heights, internal and external diameters and wall thickness were calculated with the images and the dimensioning of the drawn holes. The main interest of this study was to meet the specifications of the design of a stamped plate.

Keywords: Stamping. Finishing. Pre-fountain.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Operações básicas de estampagem	17
Figura 2: Processos de estampagem profunda.....	19
Figura 3: Estado de deformações atuantes no copo durante o embutimento.....	20
Figura 4: Diferentes tensões atuantes no processo de repuxo	21
Figura 5: Ferramenta de repuxo simples utilizada na fabricação de um recipiente.	21
Figura 6: Ferramenta de repuxo simples, utilizada para a fabricação de um recipiente.....	23
Figura 7: Estampo com prensa-chapas	24
Figura 8: Estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte superior do estampo.....	25
Figura 9: Estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte inferior do estampo.....	25
Figura 10: Representação esquemática dos estágios de conformação de uma peça, por repuxo	28
Figura 11: Intervalos recomendados para o raio da matriz R_m , o raio do punção r e a folga matriz – punção δ em função da espessura do <i>blank</i> (dimensões em mm).	30
Figura 12: Folga calculada errada	31
Figura 13: Deformação no perfil	31
Figura 14: Variação na altura	32
Figura 15: Camada passiva formada sobre a superfície dos aços inoxidáveis.	37
Figura 16: Curva tensão-deformação de três corpos de prova com medidas padrão são submetidos a um esforço de tração crescente até a sua ruptura.....	39
Figura 17: Comparação dos encruamentos de aços: austenítico (301), ferríticos (430 e 409) e baixo carbono (1008).....	41
Figura 18: Peça estampada	43
Figura 19: Prensa utilizada nos testes.....	45
Figura 20: Parte inferior da ferramenta	46
Figura 21: Parte superior de ferramenta	47
Figura 22: Ferramenta fechada	48
Figura 23: Punção de pré-repuxo adaptado na ferramenta.....	49
Figura 24: Paquímetro Mitutoyo Absolute Digimatic	49
Figura 25: estereoscópio ZEISS AxioCam ERc 5s	50
Figura 26: Aço AISI 430 repuxado direto	52
Figura 27: Repuxado direto (dimensões em mm)	52
Figura 28: Repuxado com pré-repuxo	53
Figura 29: Aço 430 com pré-repuxo	54
Figura 30: 1006 repuxado direto	54
Figura 31: Aço 1006 repuxado direto.....	55
Figura 32: 1006 com pré-repuxo	56
Figura 33: Aço SAE1006 com pré-repuxo	57
Figura 34: Peças Ampliadas	58
Figura 35: Gráfico dos custos de não qualidade.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Reduções dos aços inoxidáveis austeníticos em função dos raios das matrizes.....	28
Tabela 2: Lubrificantes mais comumente utilizados, classificados pela facilidade de remoção por meio aquoso ou por desengraxantes e/ ou solventes.	34
Tabela 3: Propriedades mecânicas.....	41
Tabela 4: Composição química de aços inoxidáveis (%).....	42
Tabela 5: Medidas obtidas com aço 430 repuxado direto	51
Tabela 6: Medidas obtidas com aço 430 com pré-repuxo	53
Tabela 7: Medidas obtidas com aço 1006 repuxado direto	55
Tabela 8: Medidas obtidas com aço 1006 com pré-repuxo	56
Tabela 9: Médias Gerais	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Fórmulas para calcular a severidade máxima (β_{max}).....	27
Quadro 2: Materiais recomendados para a confecção de punção e prensa-chapa para produção de pequenas, médias e grandes séries de peças	29
Quadro 3: Fórmulas para o cálculo de folga	30
Quadro 4: Quadro que relaciona os materiais e seus lubrificantes correspondentes.....	35
Quadro 5: Testes de Estampagem Realizados	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Definição do problema	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo Geral	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Estampagem	16
2.2 Conceitos Iniciais da Estampagem.....	18
2.3 Ferramentas de Repuxo	21
2.4 Principais Parâmetros Envolvidos na Operação de Repuxo.....	26
2.4.1 Capacidade de Alongamento do Material	26
2.4.2 Capacidade de Embutimento do material.....	26
2.4.3 Redução percentual.....	28
2.4.4 Matriz, Punção e Folgas	29
2.4.5 Velocidade de Conformação	32
2.4.6 Lubrificantes.....	32
2.4.7 Forças que atuam na operação de repuxo.....	35
2.5 Máquinas Para Estampagem.....	35
2.6 Aços Inoxidáveis	36
2.7 Comportamentos Mecânico dos Aços Inoxidáveis	38
2.8 Composições Químicas dos Aços Inoxidáveis	42
3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1 Produto de Estudos.....	43
3.2 Aplicação	44
3.3 Materiais Utilizados.....	44
3.3.1 Descrição da Ferramenta	45
3.3.2 Equipamentos Utilizados Para Análise dos Repuxos.....	49
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	51
4.1 Aço Inox AISI 430 Repuxado Direto	51
4.2 Aço Inox AISI 430 com pré-repuxo	52
4.3 Aço SAE 1006 direto	54

4.4 Aço SAE 1006 com pré-repuxo	56
4.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS	57
5 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A – Projeto da placa de desarme	64
APÊNDICE B – Disjuntor MPW25	65
APÊNDICE C – Chapa estampada antes da modificação e depois da modificação	66
APÊNDICE D – Chapa estampada.....	67
APÊNDICE E – Investimento realizado na ferramenta	68

1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de se manter no mercado e apresentar uma maior competitividade, as indústrias do setor metalmeccânico vêm sempre buscando ganhos em qualidade, produtividade, levando em consideração o objetivo de manter baixos os custos dos seus produtos.

A montagem de um produto pode depender de vários processos de fabricação que promovem a alteração da geometria do produto final. E um dado produto também pode necessitar de vários tipos de matérias-primas.

A estampagem é um processo de conformação mecânica que permite que chapas metálicas planas de fina espessura sejam transformadas em diferentes tipos de produtos. Essa transformação ocorre por meio de um conjunto de prensa e estampo. O processo de estampagem consiste em três operações básicas: o corte, o dobramento e o repuxo.

Através da estampagem podem-se obter produtos acabados que serão vendidos aos clientes, tais como utensílios domésticos, painéis, canecas, ou peças que serão utilizadas na montagem de produtos, tais como: componentes de motores elétricos, disjuntores, contadores, latarias de automóveis e muitos outros.

Peças produzidas por estampagem que serão utilizadas para montagem de produtos requerem maior precisão dimensional. É comum a necessidade de ajustar as ferramentas para solucionar problemas de estampagem.

No processo de fabricação de um disjuntor da empresa WEG surgiu um problema de acabamento de um componente estampado, chamado de placa de desarme. Houve dificuldade para atingir a tolerância de altura do furo repuxado (apêndice A) e o acabamento superficial do repuxo da placa. Este problema precisa ser corrigido sem aumentar o custo de produção da placa de desarme. Para a possível solução desse problema surgiu a necessidade de analisar a influência de uma operação de pré-repuxo antes da operação de repuxo final do furo, buscando a obtenção de um melhor acabamento das peças estampadas.

No desenvolvimento deste trabalho serão realizados testes de estampagem com a mesma chapa utilizada na Weg para a obtenção da peça, possibilitando a retirada de amostras para serem analisadas em laboratório e realizar o estudo dos resultados obtidos com a operação de pré-repuxo.

1.1 Justificativa

A fim de manter o preço de venda de seus produtos atraente para os clientes, uma empresa tem a necessidade de ter uma produção mais enxuta, com menos tempo de fabricação de seus produtos, com pouco desperdício e trabalhando com máquinas e ferramentais precisos, produtivos e de baixo custo. Levando em conta este ponto de vista, investimentos para melhorar máquinas e ferramentais que possibilitem tornar a produção mais rápida e de boa qualidade sempre são bem vistos.

Paradas para manutenção e reparos de máquinas e equipamentos são indesejáveis, pois tornam a fabricação de um produto mais lenta e custosa. Portanto justificam-se estudos e investimentos para reduzir o número de paradas em processos de estampagem.

No processo de fabricação do disjuntor MPW25 (ver apêndice B) fazem-se necessários estudos para aprimorar as técnicas de estampagem de um componente desse produto, chamado de placa de desarme, aperfeiçoando assim, o processo de repuxo do batente de poliéster presente na placa de desarme do disjuntor. E também para diminuir o número de paradas e melhorar o processo de repuxo, faz-se necessário modificar o ferramental de estampagem. Para isso é preciso levar em conta os fatores agravantes para o problema, tais como: não utilizar lubrificante na estampagem, para não haver necessidade de limpeza das peças na montagem e uma grande dificuldade de espaço no estampo para colocar um prensa-chapas.

1.2 Definição do problema

Na automação utilizam-se muitos furos repuxados para aumentar a espessura de roscas em chapas finas. Os aspectos de acabamento do repuxo como a presença de estrias, altura final, paralelismo entre a circunferência do repuxo e superfície da peça não têm muita importância. Porém, para acelerar o processo de montagem do disjuntor MPW25, surgiu a necessidade de ter um bom acabamento no furo repuxado, que nesse caso é utilizado como batente de poliéster isolante. Sabe-se que todos os fatores de acabamento precisam ser corrigidos.

Considerando as questões de acabamento de furos repuxados por estampos progressivos de alto rendimento de corte dobra e repuxo, surge a pergunta: qual o método que resultará no melhor acabamento do furo repuxado em um estampo progressivo, levando em

conta os custos de fabricação da ferramenta, repuxo direto em um só estágio, repuxo em dois estágios com uma operação de pré-repuxo e, em seguida, o repuxo final do furo ou ainda algum outro processo desconhecido?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Indicar qual a influência de uma operação de pré-repuxo no acabamento final de furos repuxados em aço inox AISI 430 e aço SAE 1006, produzidos por estampos progressivos de alto rendimento.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analisar o acabamento deixado por um repuxo direto, com a finalidade de evitar custos desnecessários na fabricação de uma ferramenta cujo furo não tenha necessidade de um pré-repuxo;
- Analisar possíveis correlações entre variáveis, possibilitando a escolha da melhor combinação de parâmetros a se utilizar para chegar a um bom acabamento;
- Definir qual o melhor método para repuxar furos que necessitem de um bom acabamento, levando em consideração a espessura da parede do repuxo, o paralelismo do repuxo, a altura do repuxo, e o material da chapa;
- Comparar furos repuxados em um único estágio com furos repuxados em dois estágios: pré-repuxo e repuxo final.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este trabalho é relacionado ao processo de repuxo de furos para se alcançar os objetivos do mesmo faz-se indispensável a compreensão de assuntos relacionados a tal processo. Para facilitar o entendimento, neste capítulo serão apresentados conceitos sobre o processo de repuxo de furos.

2.1 Estampagem

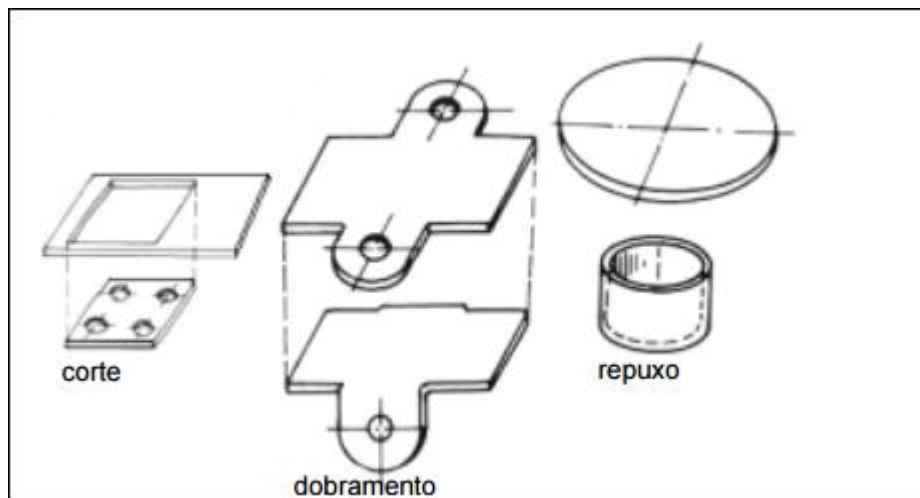
Segundo Evangelista (2000, *apud* SANTOS, 2007) os requisitos do projeto de determinada peça podem ser obtidos através dos processos de conformação de chapas. A maioria das peças conformadas tem baixo custo de fabricação, o que permite uma alta competitividade no mercado. Pelo processo ser de baixo custo, o material da peça pode ter uma fração elevada do custo total. Buscando atingir uma boa competitividade, faz-se necessária uma otimização na estampagem. Com isso, pequenas diferenças nas propriedades do material, condição de ferramentas e lubrificação, causam grandes mudanças no processo. Até mesmo a margem de segurança deve ser minimizada.

Quando se trata de produção em série o processo de estampagem é muito utilizado para fabricação, pois seu custo por unidade é baixo e as peças produzidas são muito homogêneas. Peças de várias formas podem ser produzidas através de um conjunto formado por prensa e estampo (BRITO, 2004).

As peças conformadas a partir de chapas finas são produzidas na maior parte das vezes em prensas mecânicas ou hidráulicas. Durante o processo de estampagem as prensas são responsáveis por aplicar força, velocidade e precisão ao movimento, para a conformação da chapa metálica (CRUZ, 2008).

Nas palavras de Kiminami (2013) a conformação de chapas finas consiste em transformar uma chapa plana denominada *blank* através de um conjunto de processos de transformação mecânica, normalmente realizados a frio, que fazem com que o *blank* tome a forma de uma matriz, pela aplicação de forças transmitidas através de um punção. Corte dobramento ou encurvamento e repuxo são basicamente as operações realizadas para conformação de chapas finas e podem ser visto na figura 1.

Figura 1: Operações básicas de estampagem



Fonte: Kiminami (2013, p.95)

Segundo Amorim (2012), o processo de fabricação chamado estampagem, no ramo da mecânica, é utilizado para dar forma a um produto. A matéria prima mais utilizada são chapas metálicas feitas com as ligas de aço de baixo carbono, aços inoxidáveis, ligas de alumínio e manganês, entre outros materiais que permitem estampabilidade.

Qualinox (2014) define estampagem como sendo um processo preciso de moldagem de chapas planas de metal em uma prensa de estampagem. É possível produzir peças bidimensionais através das técnicas de corte e tridimensionais através das técnicas de conformação. A estampagem de metal produz peças com precisão uniforme, em grande volume, alta velocidade e baixo custo. Podem ser estampados uma grande gama de matérias tais como: aço, alumínio, zinco, níquel, titânio, latão, cobre e uma série de ligas metálicas.

Para complementar as vantagens do processo, Qualinox (2014, p.1) afirma que:

Os serviços de estamparia de metais são rentáveis, pois o processo é capaz de produzir peças e materiais de modo intensivo e em níveis de produção muito maiores do que quando se utiliza outros métodos tradicionais. As peças de metal estampadas são precisas e altamente resistentes. Muitas peças feitas através de outros métodos de formação de metal, tais como fundição, forjamento e usinagem podem ser facilmente projetados para passar também pelo método de estampagem de metal com o uso de prensas mecânicas de estampagem. A estamparia de metais permite que as peças sejam feitas de materiais mais resistentes, incluindo materiais como o aço inoxidável, níquel, aço laminado a frio, alumínio, latão, bronze e aço galvanizado. Com a estampagem, muitas vezes os processos secundários de conformação do metal podem ser reduzidos ou completamente eliminados a fim de diminuir os custos de produção.

A estampagem, segundo Chiaverini (1986, *apud* AMORIM, 2012) compreende as seguintes operações: Corte, dobramento e encurvamento que são normalmente realizados a frio e estampagem profunda que pode ser realizada a frio ou a quente.

Na visão de Provenza (1989, *apud* AMORIM, 2012) corte, dobra e repuxo são as operações fundamentais que podem ser realizadas através do processo de estampagem. Corte e dobra normalmente são realizados a frio, já o repuxo pode ser a frio ou a quente, conforme necessidade.

Em termos de conformação mecânica, chama-se de: trabalho a quente aquele que é executado em temperaturas acima de $0,5 T_f$ (temperatura de fusão). Trabalho a morno executado na faixa compreendida (grosseiramente) entre $0,3$ e $0,5 T_f$ e trabalho a frio aquele que é executado entre 0 e $0,3 T_f$ (AMORIM, 2012).

De acordo com os processos de estampagem, as operações podem ser classificadas conforme cita Polack (1974, *apud* AMORIM, 2012, p.18):

- a) Corte e puncionamento: Entende-se por corte e puncionamento a perfuração de uma chapa mediante um punção ou macho que penetra em um orifício de sua mesma forma em uma placa chamada matriz, em principio, a espessura da chapa a ser cortada deve ser igual ou menor que o diâmetro do punção, e as peças obtidas deste processo, podem ser submetidas a uma operação posterior.
- b) Curvatura e dobragem: Entende-se por curvar e dobrar chapas o dar-lhes uma forma de superfície curva, ou fazer com que uma chapa forme dois ou mais planos separados por ângulos vivos. A chapa sofre uma deformação por flexão, a forma da peça é conferida geralmente, de duas peças tais que o perfil de uma é igual ao contra perfil da outra.
- c) Embutimento de chapas: Consiste em dar-lhe a chapa uma forma oca, sem que haja aparecimento de rugas e trincas, tal como vasos, painéis, etc., este processo é realizado a frio e, dependendo da forma final da peça é realizado em uma ou mais fases de conformação.

2.2 Conceitos Iniciais da Estampagem

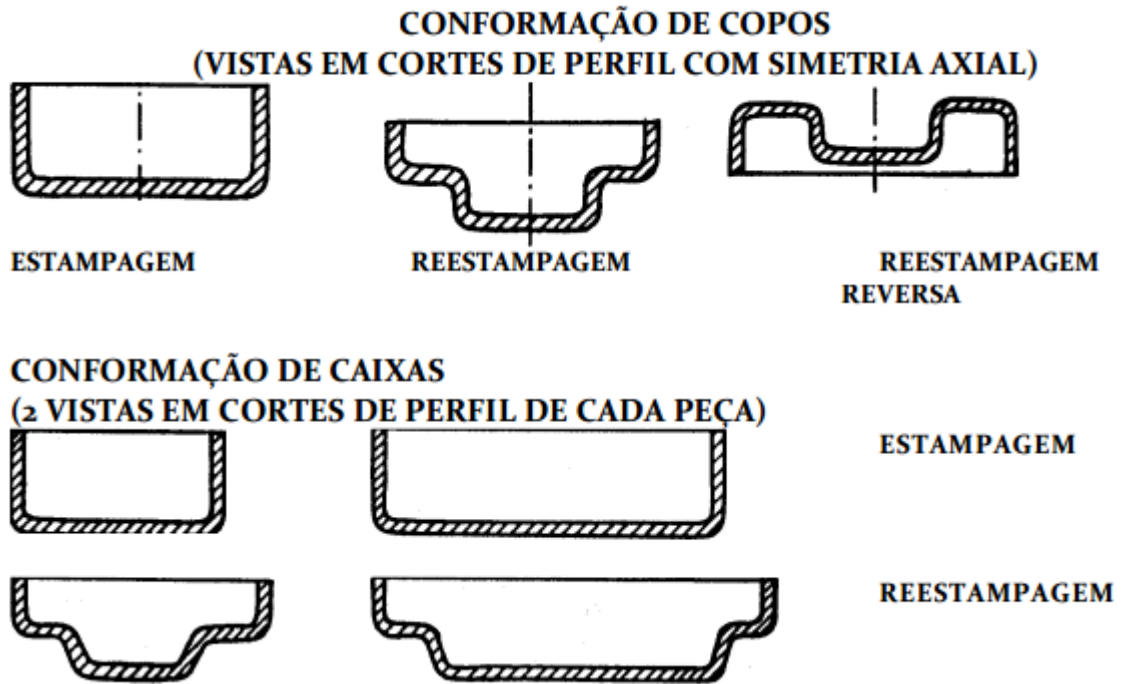
Segundo Bresciani (1997, p.61) “Os processos de conformação plástica de chapas podem ser inicialmente classificados em dois grandes grupos: estampagem profunda ou embutimento (ou estiramento) e conformação em geral”.

De acordo com Bresciani (1997), para serem fabricadas peças de chapas através do processo de deformação plástica, o processo de corte sempre estará presente, pois as peças conformadas sempre são feitas a partir de pedaços de chapas cortadas. Essas podem ser chamadas de disco ou profunda.

Para Bresciani (1997), os processos a seguir são processo de estampagem profunda: reestampagem e reestampagem reversa de copos; conformação rasa com estampagem e

reestampagem de painéis; conformação profunda com estampagem de painéis; conformação por estampagem; conformação com estampagem e reestampagem de caixas, que podem ser observados na figura 2.

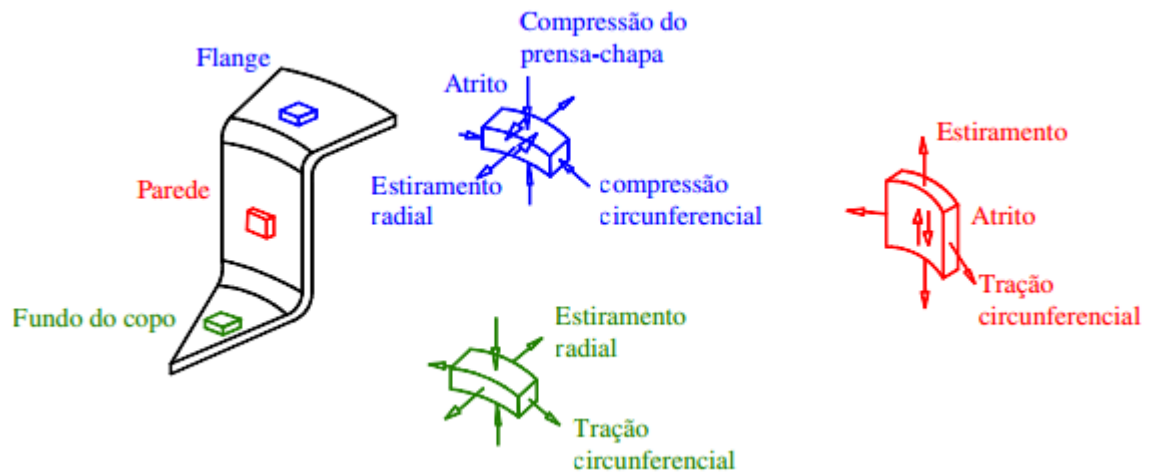
Figura 2: Processos de estampagem profunda



Fonte: Bresciani (1997, p.61)

Segundo Bresciani (1997, *apud* SANTOS 2007), a espessura de uma chapa plana é alterada durante o processo de embutimento devido a um estado de tensões e deformações a qual ela é submetida. Conforme a posição da retirada do elemento de análise, o estado típico de tensões varia na peça que está sendo conformada. Existem três diferentes estados de tensão para peças cilíndricas: um no flange, um na parede lateral e um no fundo do copo, como pode ser visto na figura 3.

Figura 3: Estado de deformações atuantes no copo durante o embutimento

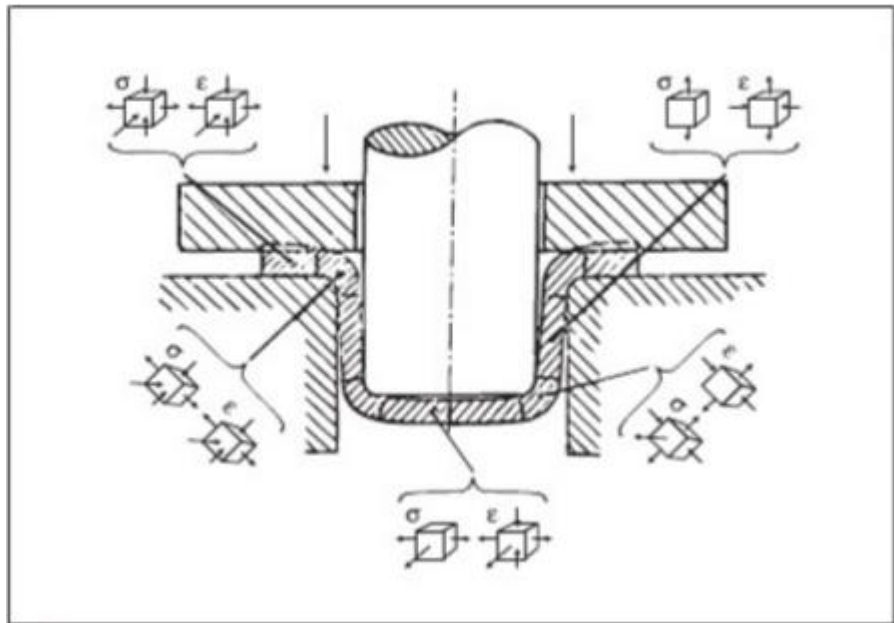


Fonte: Bresciani (1997, p.66)

Já para Mesquita (1997) basicamente são quatro as regiões com deformação distintas. As tensões também são diferentes em cada região da peça gerando, variação da espessura da mesma:

- A parte plana do fundo da peça cuja espessura final é praticamente a mesma do *blank*, quase não apresentando deformação;
- O raio do fundo da peça onde ocorre significativa deformação na espessura;
- O raio da matriz onde se verifica um aumento de espessura pelas diferenças entre as tensões de tração, compressão e a componente tangencial;
- As paredes laterais onde ocorre um decréscimo gradual da espessura até o fundo da peça, essas características podem ser observadas na figura 4.

Figura 4: Diferentes tensões atuantes no processo de repuxo

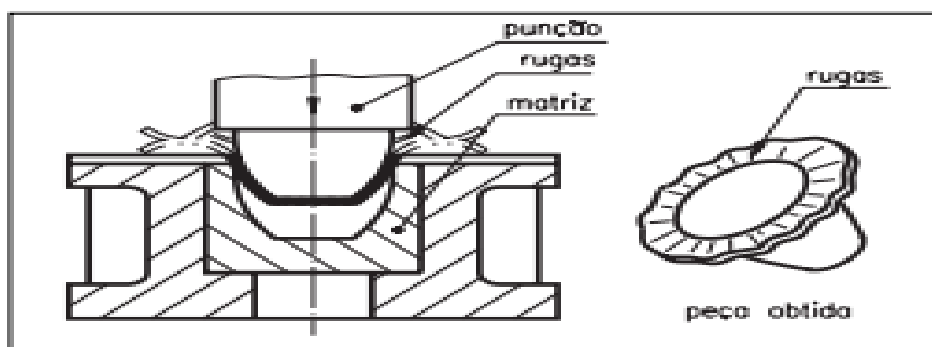


Fonte: Mesquita (1997, p.37)

2.3 Ferramentas de Repuxo

O repuxo é definido como um processo de estampagem, no qual uma chapa metálica adquire forma volumétrica, oca, previamente definida, através de ferramentas que executam esse trabalho. Esses estampos possuem as mesmas características dos estampos de corte e dobra. Basicamente são formados por um punção e uma matriz. Os estampos podem ser construídos de uma forma mais simples ou mais elaborados. Os estampos de repuxo simples têm custo mais baixo que outros estampos de repuxo. Porém, são pouco utilizados devido à formação de rugas nas bordas durante a operação de repuxo, como pode ser visto na figura 5 (TELECURSO 2000, 1997).

Figura 5: Ferramenta de repuxo simples utilizada na fabricação de um recipiente.



Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.74)

Os estampos de repuxo mais utilizados são os elaborados e que possuem um sujeitador, chamado também de prensa-chapa. Por isso, seu custo de fabricação se torna mais alto. Porém, esse dispositivo evita que as bordas, depois de repuxadas, apresentem rugas (TELECURSO 2000, 1997).

Para Cruz (2008, p.15),

Todos os estampos de repuxo sejam eles simples, combinados ou progressivos, devem ter como um dos principais valores o “prensa chapa”, pois ele é quem apoia com ação de molas a chapa que vai ser repuxada na matriz, evitando assim rugas e ondulações no produto durante a operação.

Conforme Cruz (2008), estampos são ferramentas projetadas e fabricadas, para que uma chapa plana através de estampagem seja conformada mecanicamente transformando-se em produtos de formas geométricas variadas. Na classificação quanto aos tipos de estampo, determina que os estampos são classificados por três operações básicas: corte, dobra e repuxo.

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 de elementos específicos responsáveis pelo formato da peça a produzir”.

Kiminami (2013, p 96) diz que:

A distinção entre estampagem rasa e profunda é arbitrária. A estampagem rasa geralmente se refere à conformação de um copo com profundidade menor do que a metade do seu diâmetro com pequena redução da parede. Na estampagem profunda, o copo é mais profundo do que a metade do seu diâmetro.

Para reduzir o desgaste da ferramenta e os esforços de conformação, o ideal é que se tenha uma boa lubrificação. Isso melhora o rendimento do processo (KIMINAMI 2013).

O processo de repuxamento tem como objetivo principal a transformação de chapas planas em peças com formato côncavo e convexo como, por exemplo, peças automotivas, painéis, copos de alumínio, pára-lamas, latas de refrigerante e rodas de carro. Por exigir uma deformação plástica muito grande, o processo de repuxo muitas vezes tem que passar por várias etapas de repuxo até chegar às dimensões finais do produto (CRUZ, 2008).

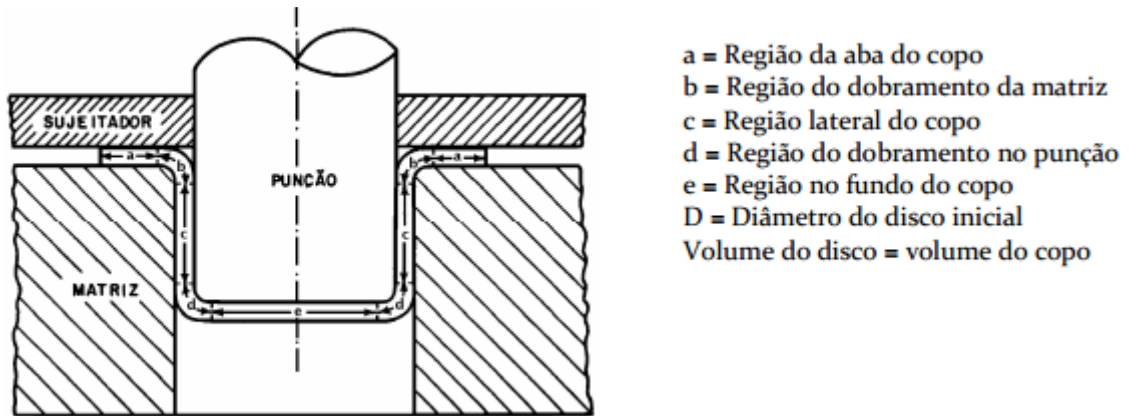
Bresciani (1997, p.65) considera as condições de estampagem boas quando:

As condições de estampagem são típicas quando se parte de um esboço circular, ou disco, e se atinge a forma final de um copo. O disco metálico, por meio da ação do punção na sua região central, deforma-se em direção à cavidade circular da matriz, ao mesmo tempo em que a aba ou flange, ou seja, a parte onde não atua o punção, mas somente o sujeitador, movimenta-se em direção à cavidade como pode ser visto na figura 6.

Na região da aba ocorre uma redução gradativa da circunferência do disco, à medida que sua região central penetra na cavidade da matriz. Nessa região atuam

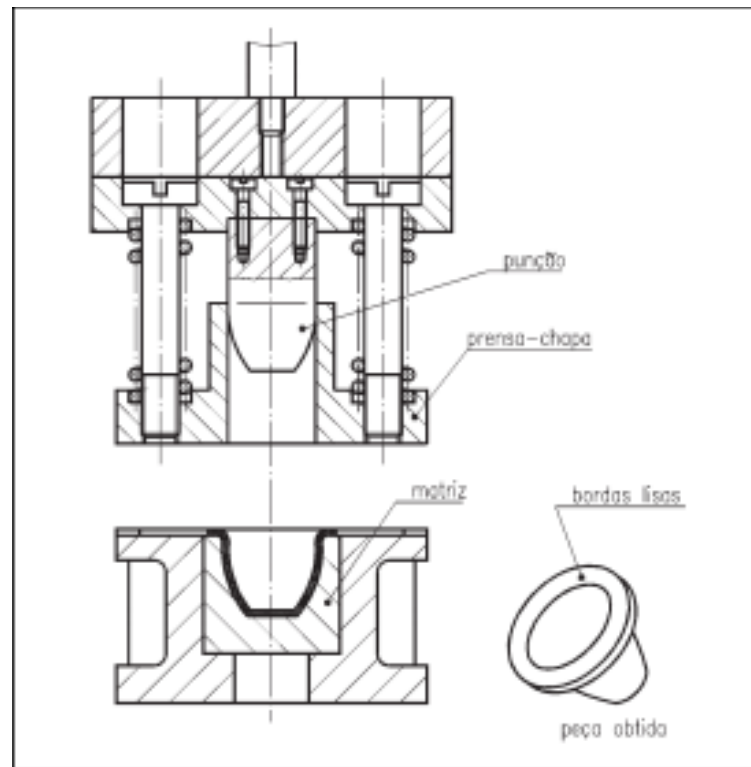
esforços, na direção das tangentes dos círculos concêntricos à região central, denominados de compressão circunferencial e que tendem a enrugar a chapa. Para evitar esse enrugamento, aplica-se uma tensão de compressão, através do sujeitador.

Figura 6: Ferramenta de repuxo simples, utilizada para a fabricação de um recipiente



Fonte: Bresciani (1997, p.65)

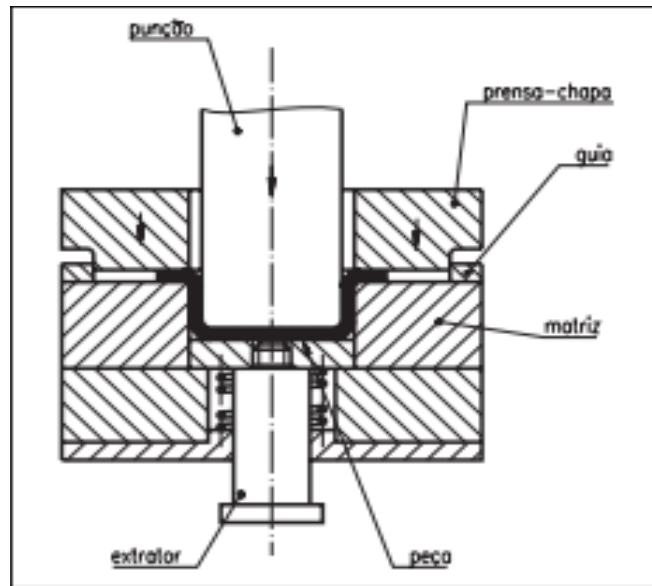
Para evitar o aparecimento de rugas durante o repuxo deve-se exercer pressão sobre a chapa para fazer que ela deslize apenas para o interior da cavidade da matriz para que isso ocorra, utiliza-se o prensa-chapas que pode ser observado na figura 7 (TELECURSO 2000, 1997).

Figura 7: Estampo com prensa-chapas

Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.175)

Devido ao fenômeno de recuperação elástica dos materiais, ao terminar a operação de repuxo, a peça já moldada fica presa à matriz ou ao punção. Para fazer a liberação da peça existe um dispositivo chamado extrator. A peça repuxada pode ser retirada do estampo por duas formas. O mais comum é que seja extraída da matriz e retirada por cima conforme a figura 8.

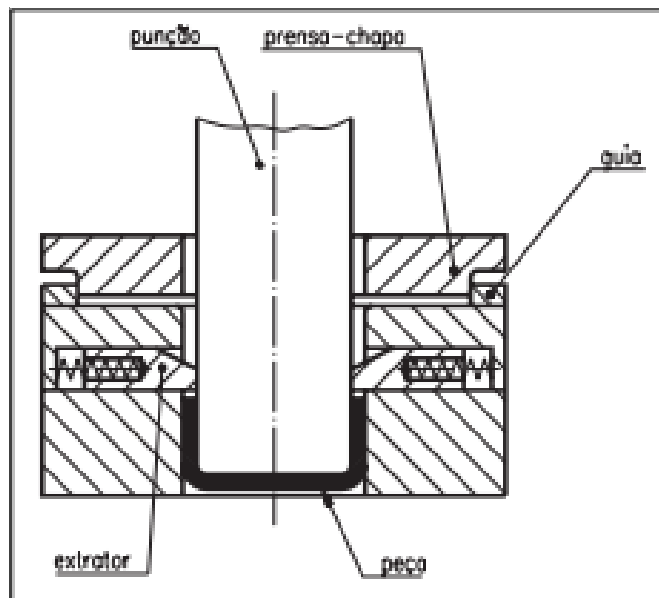
Figura 8: Estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte superior do estampo



Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.175)

Extraída do punção e retirada por baixo do estampo. Conforme a figura 9 (TELECURSO 2000, 1997).

Figura 9: Estampo de repuxo com um extrator que possibilita a saída da peça pela parte inferior do estampo



Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.175)

2.4 Principais Parâmetros Envolvidos na Operação de Repuxo

2.4.1 Capacidade de Alongamento do Material

Segundo Mesquita (1997), cada material tem sua capacidade de alongamento que é dada pela função da velocidade de endurecimento pelo trabalho mecânico a frio. Sua forma de medição se dá pelo coeficiente de encruamento n (tangente à sua curva tensão deformação).

Em materiais com alto coeficiente de encruamento, a deformação localizada causa um incremento rápido da resistência mecânica e o material se torna capacitado a resistir cada vez mais à deformação. Em materiais de pequeno coeficiente de encruamento, a deformação localizada causa uma estrição (redução de seção) e uma perda da resistência mecânica. Comparativamente, os aços baixo carbono e o inox tipo 430 apresentam coeficientes n iguais a 0,22, enquanto que para o aço inox 304 este coeficiente atinge n igual a 0,48. A capacidade de endurecimento de um aço também depende basicamente de sua composição química.

2.4.2 Capacidade de Embutimento do material

De acordo com Mesquita (1997), a capacidade de embutimento de um material depende da sua relação de deformação plástica que é uma medida da resistência à estrição do material. A condição limite de repuxo em uma única operação, também chamada de severidade máxima de repuxo (β_{max}) para os aços inoxidáveis, é determinada a partir da relação prática válida para o intervalo de 25 a 600 de d/e , onde “ d ” é o diâmetro do punção e “ e ” é a espessura da chapa.

$$\beta_{0_{max}} = 2,15 - 0,001 \cdot \frac{d}{e}$$

A relação abaixo é chamada de relação de repuxo (β_0) em função da geometria da peça, onde D é o diâmetro do *blank* e d o diâmetro do punção.

$$\beta_0 = \frac{D}{d}$$

Se $\beta_o \leq \beta_o \text{ máx.}$, a peça poderá ser repuxada em apenas uma operação.

Se $\beta_o > \beta_o \text{ máx.}$, a peça necessariamente deverá ser estampada em mais de uma operação de repuxo.

Para TELECURSO 2000 (1997), a fórmula para calcular a severidade do repuxo (β_o) é a mesma: $\beta_o = \frac{D}{d}$ Porém, para calcular a severidade máxima ($\beta_{\text{máx}}$), utiliza-se o quadro a seguir:

Quadro 1: Fórmulas para calcular a severidade máxima ($\beta_{\text{máx}}$)

$\beta_{o_{\text{máx}}}$	MATERIAIS (ADEQUADOS AO REPUXO)
$2,15 - 0,001 \times \frac{d}{e}$	Aços com baixa porcentagem de carbono (1006 - 1008) Aços inoxidáveis Ligas de cobre Alumínio Ligas de latão
$2 - 0,0011 \times \frac{d}{e}$	Aços com alta porcentagem de carbono (1020 -1030) Ligas de cobre e alumínio com maior dureza Brinell

Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.178)

Quando não é possível realizar o repuxo em uma única operação, porque a relação entre o diâmetro do embutimento final e o diâmetro da chapa, conhecido como *blank*, é muito grande, divide-se a operação em estágios até a peça tomar, aos poucos, sua forma final. A figura 10 apresenta uma representação esquemática dos estágios de conformação de uma peça, por repuxo (TELECURSO 2000,1997).

Para o cálculo das dimensões do *blank* utiliza-se fórmulas matemáticas ou gráficos. Para uma peça simples, sem abas, pode ser utilizada a fórmula a seguir (TELECURSO 2000,1997):

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \times d \times h}$$

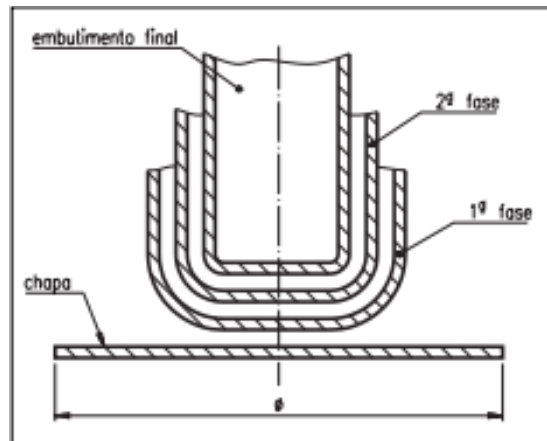
Onde:

D = diâmetro do *blank*

d = diâmetro do punção

h = altura do copo (ou peça)

Figura 10: Representação esquemática dos estágios de conformação de uma peça, por



Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.177)

2.4.3 Redução percentual

Para definir-se o número de estágios necessários, deve-se levar em conta que no primeiro estágio deve haver uma redução de 40% (ou 0,6) do diâmetro do *blank*. Nos demais estágios a redução deve ser de 20% (ou 0,8), até que se obtenha o diâmetro interno desejado (TELECURSO 2000,1997).

Conforme Mesquita (1997), para os aços inoxidáveis austeníticos a redução varia de 40 a 60% e para os aços ferríticos 40 a 55%. Em estampagem profunda, o grau de redução varia de acordo com o raio da matriz utilizada. Conforme o raio da matriz diminui, o grau de estampabilidade dos aços inoxidáveis também diminui.

Tabela 1: Reduções dos aços inoxidáveis austeníticos em função dos raios das matrizes

Raio da Matriz (*)	Redução (%)
15 e	50 a 60
10 e	40 a 50
5 e	30 a 40
2 e	0 a 10

(*) e = espessura do blank

Fonte: Mesquita (1997, p.40)

Para os aços inox, pelo aumento progressivo do encruamento, a relação de redução vai diminuindo em cada operação sucessiva. Por isso é frequente se estabelecer a seguinte relação de redução: 35, 30, 20 e 10% (MESQUITA 1997).

2.4.4 Matriz, Punção e Folgas

De acordo com Mesquita (1997), o desgaste do conjunto punção - matriz se dá em função do material a ser embutido. Um material macio causa menos desgaste que um material de alta dureza. Os aços inoxidáveis causam grandes desgastes por abrasão e tendem a aderir ao punção e à matriz. Por isso, para sua fabricação, recomenda-se o uso de materiais que minimizem essa adesão tais como: aços ferramentas de alta dureza tratados com cromo duro, punção e matriz endurecidas por tratamento de nitretação; matrizes compostas com a face de trabalho fabricadas com bronze alumínio. Para a escolher o material podemos seguir as orientações do quadro 2.

Quadro 2: Materiais recomendados para a confecção de punção e prensa-chapa para produção de pequenas, médias e grandes séries de peças

Descrição / ferramenta		10000 peças	100000 peças	1000000 peças
Peças de até 76 mm (seção cilíndrica e quadrada)	Punção	W1 ou 4140 cementada	W1 ou 4140 cementada	A2 ou D2
	Prensa-chapa	W1 ou O1	W1 ou O1	W1 ou O1
Peças redondas até 305 mm	Punção	Ferro fundido ligado	O1	A2 ou D2
	Prensa-chapa	Ferro fundido ligado	Ferro fundido ligado	O1 ou A2

Fonte: Mesquita (1997, p.41)

Existem parâmetros de embutimento que dependem da espessura da chapa a ser embutida, que são: raio da matriz; raio do punção; folgas entre matriz e punção, que podem ser definidas pelas fórmulas a seguir:

$$R_m = 0,8\sqrt{(D - d) \times e}$$

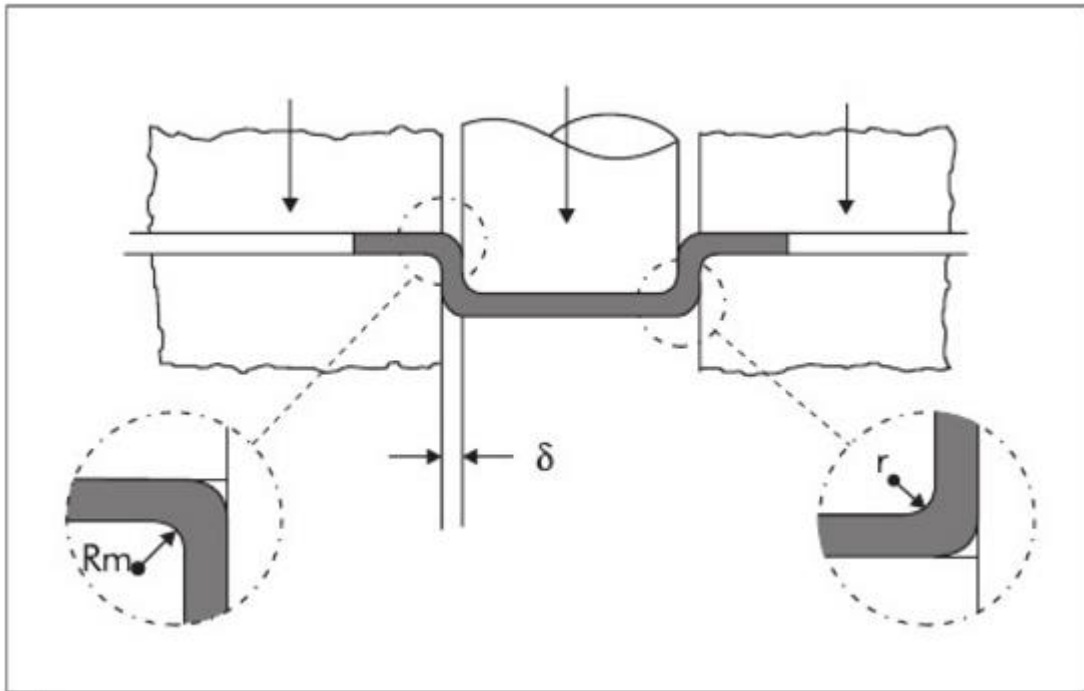
onde: R_m é o raio da matriz.

$$\delta = e + 0,07\sqrt{10 \times e}$$

onde: δ é a folga punção matriz.

Pode-se usar como referência os intervalos recomendados pela figura 11 para o raio da matriz R_m , o raio do punção r e a folga matriz – punção δ em função da espessura do *blank*.

Figura 11: Intervalos recomendados para o raio da matriz R_m , o raio do punção r e a folga matriz – punção δ em função da espessura do *blank* (dimensões em mm).



Material	R_m	r	folga (δ)
Aço carbono	4 a 8 e	2 e	1,05 a 1,15 e
Aço inox austenítico	5 a 8 e	4 e	1,20 a 1,40 e
Aço inox ferrítico	7 a 15 e	5 e	1,15 a 1,20 e
Aço inox martensítico	7 a 15 e	5 e	1,15 a 1,20 e

e = espessura do material

Fonte: Mesquita (1997, p.42)

De acordo com TELECURSO 2000 (1997), a folga (δ) é calculada de acordo com a espessura mais um coeficiente determinado empiricamente para cada tipo de material a ser repuxado como pode ser visto no quadro 3. Todas as ferramentas de repuxo necessitam dessa folga entre punção e matriz para evitar o excesso de atrito que provoca rachaduras e marcas na peça repuxada.

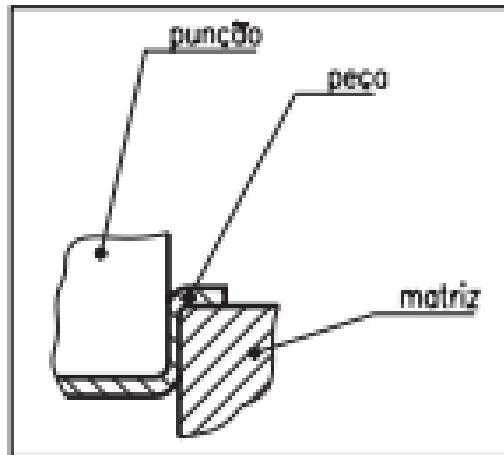
Quadro 3: Fórmulas para o cálculo de folga

Fórmula	Grupo de materiais (chapas)
$\delta = e + 0,07 \sqrt{10 \times e}$	Aço
$\delta = e + 0,04 \sqrt{10 \times e}$	Metais não ferrosos
$\delta = e + 0,02 \sqrt{10 \times e}$	Alumínio
$\delta = e + 0,20 \sqrt{10 \times e}$	Metais resistentes ao calor

Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.176)

Se a folga da ferramenta for projetada erroneamente, e a folga for menor que a necessária o material repuxado tende a esticar-se, podendo até romper-se com apresentado na figura 12 (TELECURSO 2000, 1997).

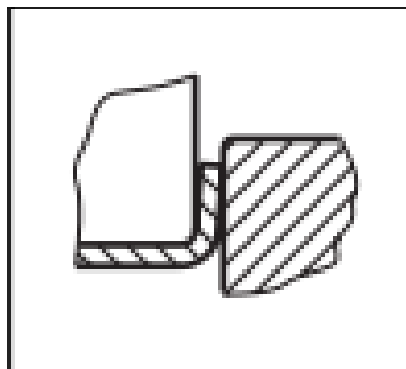
Figura 12: Folga calculada errada



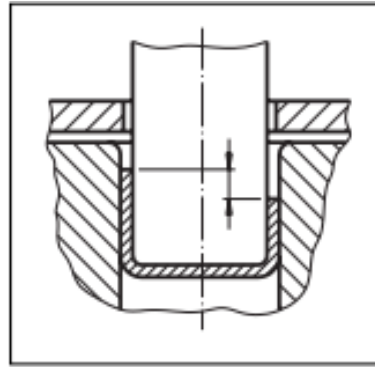
Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.176)

Caso a folga for maior que o necessário, pode haver deformações no perfil. Se a folga for mal distribuída ou ocorrer algum erro de centralização da ferramenta de repuxo, pode ocorrer variação da altura como nas imagens apresentadas nas figuras 13 e 14 a seguir (TELECURSO 2000,1997).

Figura 13: Deformação no perfil



Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.177)

Figura 14: Variação na altura

Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.177)

2.4.5 Velocidade de Conformação

Considerada um fator crítico, principalmente em materiais de baixa ductilidade, a velocidade de embutimento alta pode causar fraturas ou uma excessiva redução na parede da peça. Os seguintes fatores influenciam na escolha da velocidade de conformação: uso de matéria-prima de qualidade uniforme; peças simétricas de baixa severidade de redução; lubrificação adequada; qualidade do ferramental; pressão do prensa-chapa; qualidade da prensa (MESQUITA, 1997).

A velocidade máxima de conformação para aços austeníticos, em boas condições de estampagem, está na ordem de 9 a 12 m/min. Conforme as condições pioram, abaixa-se a velocidade de conformação. Em condições piores de conformação pode-se estabelecer os valores indicativos de 6 a 9 m/min para aços austeníticos e de 4 a 6 para os aços ferríticos (MESQUITA, 1997).

2.4.6 Lubrificantes

Para Mesquita (1997), existem vários tipos de lubrificantes, mas todos devem ser aplicados uniformemente sobre toda a superfície da peça para evitar ou minimizar os contatos metal-metal que levam à adesão a frio entre eles. Dentre os vários tipos estão:

- lubrificação de película grossa, que evita totalmente o contato metal-metal;
- lubrificação de película fina ou mista, que permite algum contato metal-metal;
- lubrificação de fronteira, que permite uma aderência física entre o lubrificante e a superfície, o que reduz a espessura do filme;

- lubrificação de pressão extrema, onde as superfícies metálicas mudam pela ação de uma reação química que forma compostos de baixa resistência e cedem facilmente à aplicação de uma deformação;

- lubrificação de película sólida onde a separação metal-metal é feita pela interposição de uma capa de substâncias sólidas. O mecanismo dessa lubrificação é idêntico ao da película grossa.

Para a escolha de um lubrificante deve-se levar em conta também sua remoção, principalmente no caso dos aços inox onde há necessidade do processo de recozimento posterior, devido ao seu apelo estético, pois a queima dos resíduos do lubrificante pode manchar a peça. Em geral, à medida que aumenta a efetividade de um lubrificante, aumenta também a sua dificuldade de remoção. Também há alguns lubrificantes que atacam determinados metais, inclusive os aços inoxidáveis. Quando aços inox são submetidos a trabalhos a quente ou a tratamentos térmicos, lubrificantes à base de chumbo e zinco devem ser evitados, pois promovem corrosão intergranular nos aços inoxidáveis. Na tabela 2 estão listados os Lubrificantes mais comumente utilizados e classificados pela facilidade de remoção (MESQUITA, 1997).

Tabela 2: Lubrificantes mais comumente utilizados, classificados pela facilidade de remoção por meio aquoso ou por desengraxantes e/ ou solventes.

Redução R %	Lubrificante		Eliminação		Efetividade de aplicação
	Base	Tipo	Com Veículo Aquoso	Com Desengraxante / Solvente	
$R \% \leq 10$	Aquosa	Emulsão de óleo 5 - 20%	10	8	6
$11 \leq R \% \leq 20$	Aquosa	Solução de sabão 5 - 20%	10	3	6
$21 \leq r \% \leq 40$	Aquosa	Pasta diluída de sabão e graxa	6	5	8
		Emulsão de óleo p uso pesado, com Cl-e S	10	8	7
$\% > 40$	Aquosa	Pasta pigmentada sabão/ graxa	5	3	10
		Pasta cera/ sabão/ borax	8	3	8
$R \% \leq 10$	Oleosa	Óleo residual de processo	8	10	6
		Óleo mineral	8	10	6
$11 \leq R \% \leq 20$	Oleosa	Óleo mineral c 10 - 30% de ácido graxo	8	10	8
		Idem com 2 -20% de óleo clorado ou sulfuradoi	7	8	7
$21 \leq R \% \leq 40$	Oleosa	Ácidos graxos	6	6	8
		Óleo mineral com 5 - 50% de:			
		-óleo clorado não emulsionável	5	8	6
		-óleo clorado emulsionável	8	8	6
		Óleo fosfatado concentrado	6	6	7
$\% > 40$	Oleosa	Mistura de óleo mineral com pastas pigmentadas sabão/ graxa	5	5	9

Fonte: Mesquita (1997, p.44)

Obs.: Os lubrificantes foram classificados em notas de zero a dez, com o valor zero correspondendo ao pior comportamento e dez ao melhor comportamento. A redução da coluna à esquerda se refere à porcentagem de redução de diâmetro de peças cilíndricas. O pó de grafite e graxa de sulfeto de molibdênio somente são recomendados em aplicações a altas temperaturas.

Segundo TELECURSO 2000 (1997), a função da lubrificação é diminuir a resistência ao deslizamento, reduzir esforços desnecessários, evitar peças defeituosas e desgaste prematuro do estampo. Utilizam-se diferentes lubrificantes nas operações de repuxar,

cada um correspondendo a um material de trabalho. Os produtos de lubrificação podem ser usados puros ou diluídos. De modo geral, empregam-se os produtos diluídos.

Quadro 4: Quadro que relaciona os materiais e seus lubrificantes correspondentes

Material	Lubrificante
Aços	Sabão em pasta, óleo de rícino, talco, emulsões de óleos minerais.
Alumínio e suas ligas	Querosene, óleo de coco, vaselina, sebo, óleo grafitado.
Zinco, estanho, chumbo e metal branco.	Sebo
Cobre, bronze e latão	Óleo mineral grosso, pasta de sabão com água, petróleo grafitado.
Aço inoxidável	Água grafitada

Fonte: Telecurso 2000 (1997, p.181)

2.4.7 Forças que atuam na operação de repuxo

Para Mesquita (1997) as forças que atuam na operação de repuxo são as forças de repuxo e de prensa-chapa. Consideram-se:

Resistência à tração do aço inox (σ_B) kgf/mm²

Fator de correção da severidade de repuxo (s) $s = 1,2x \frac{\beta_0 - 1}{\beta_{0 \max} - 1}$

Área de atuação do prensa-chapa (A_c) $A_c = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_0^2)$ em cm²

Pressão do prensa-chapa (p) $p = 0,25 \left[(\beta_0 - 1)^2 + \frac{0,5d}{100e} \right] \sigma_B$ em kgf/cm²

Definem-se:

Força de repuxo (F_R) $F_R = \pi \cdot d \cdot e \cdot \sigma_B \cdot s$

Força do prensa chapa (F_{pc}) $F_{pc} = p \cdot A_c$

2.5 Máquinas Para Estampagem

Para transformar chapas de aço ou metálicas em produtos específicos, grande parte da indústria metalúrgica utiliza máquinas chamadas de prensas. As prensas utilizadas no processo de estampagem podem ser prensas mecânicas ou hidráulicas (CRUZ, 2008).

Segundo Cruz (2008, p. 19) “[...] são fabricados estampos específicos para um determinado produto, onde estes estampos são fixados nas prensas para que se faça a produção em série deste produto determinado”.

As prensas mecânicas aplicam golpes de curta duração, e na maioria das vezes são de ação rápida para possibilitar essa ação rápida geralmente a energia é armazenada num volante e transferida para o cursor móvel no êmbolo da prensa. As hidráulicas são de ação lenta, porém podem aplicar golpes mais longos e com mais força (KIMINAMI, 2013).

Por serem máquinas mais lentas e por atingirem altas toneladas de forças, as prensas hidráulicas são as mais utilizadas para o acionamento de estampos de dobra e repuxo (CRUZ, 2008).

2.6 Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis ferríticos contêm no mínimo 11% de cromo, sendo usualmente chamados de aços “inox”. O cromo é o elemento químico que lhe garante uma resistência elevada à corrosão. A reação com o meio ambiente dos elementos de liga presentes nos aços inoxidáveis resulta no fenômeno da passividade. O cromo protege o material de subsequentes ataques corrosivos, pois forma um filme fino e aderente, conhecido como filme passivo. Esse filme é o resultado da reação entre o material e a água ou o ar sempre presente no meio ambiente (a umidade do ar condensa sobre a superfície fria do metal) (CÂNDIDO, 2003).

Em geral a resistência do aço inox aumenta à medida que mais cromo é adicionado ao aço. Com a intenção de melhorar as propriedades físicas e mecânicas e aumentar sua resistência a corrosão são adicionados ao aço inox outros elementos como: níquel, molibdênio, titânio, nióbio, etc. (MESQUITA, 1997).

A camada passiva é altamente aderente ao aço inox como pode ser observado na figura 15 e o defende contra a ação de meios agressivos, apesar de ser invisível, estável e finíssima. Essa reação gera um oxi-hidróxido de cromo e ferro, o óxido predomina na região mais próxima da superfície metálica, e na região mais próxima ao meio ambiente um hidróxido, com o passar do tempo à camada de óxido aumenta e a de hidróxido não, aparentemente, existe um enriquecimento do filme passivo. Adicionando-se cromo a mistura, a película tem sua resistência aumentada, ela é invisível estável, com espessura finíssima e muito aderente ao material (CÂNDIDO 2003).

Para permitir que o inox seja estampado, trabalhado, dobrado, soldado, são adicionados outros elementos de liga, como níquel, molibdênio, nióbio e titânio, que permitem que o inox seja utilizado numa gama muito variada de produtos.

Leslie (1981 *apud* CÂNDIDO 2003, p. 26) apresenta aspectos sobre aço inoxidável ferrítico.

O aço inoxidável ferrítico principal é o tipo AISI 430, que contém 16% a 18% de cromo e um máximo de 0,12% de carbono. Essa família de aço é amplamente utilizada em diversas aplicações, como construção civil, fabricação de bens de consumo duráveis, utensílios de cozinha, pias, estocagem de ácido nítrico, indústria automobilística, etc.

Figura 15: Camada passiva formada sobre a superfície dos aços inoxidáveis.



Fonte: Cândido (2003, p.25)

Os aços inoxidáveis são agrupados em famílias de acordo com os elementos de liga contidos neles, com características semelhantes e destinados a aplicações específicas. Basicamente distinguem-se três famílias para os aços inoxidáveis: aços martensíticos; aços ferríticos; aços austeníticos (MESQUITA, 1997).

Aços inoxidáveis martensíticos possuem excelente resistência mecânica, são magnéticos e podem atingir altas durezas a partir de tratamentos térmicos. Sua maior utilização é em instrumentos de medida, cutelaria, lâminas de corte, correntes para máquinas, discos de freio, etc. (MESQUITA, 1997).

A diferença entre os aços inoxidáveis martensíticos e os aços inoxidáveis ferríticos é basicamente o teor de carbono. Os aços inoxidáveis martensíticos contêm de 12% a 18% de cromo e 0,12% a 1,2% de carbono. Os mais utilizados são o tipo AISI 410, que contém 11,5% a 13,5% de Cr e 0,15% de C (máximo) e os do tipo 420, que contêm 12,0% a 14,0 % de Cr e 0,15% de C (máximo) (ACESITA, 1989, LESLIE, W. C, 1981, *apud* CÂNDIDO 2003).

Aços inoxidáveis ferríticos como AISI 430 e AISI 409 são magnéticos, normalmente são endurecíveis por conformação a frio e são utilizados no estado recozido. Normalmente são utilizados em baixelas, fogões, geladeiras, pias, sistemas de exaustão de gases em motores de explosão, recheio de colunas de destilação, moedas, etc. (MESQUITA 1997).

Leslie (1981, *apud* CÂNDIDO, 2003, p.25) resume o conceito de aços inoxidáveis ferríticos como:

São ligas de Fe-Cr, contendo de 11,5 a 27% de Cr, com adições de Mn e Si, e ocasionalmente Ni, Al, Mo, Ti ou Nb. São usados porque possuem boa resistência à corrosão e à oxidação mesmo a alta temperatura, boa conformabilidade, resistência à formação de pites e outros tipos de corrosão, e geralmente custam menos que os aços inoxidáveis austeníticos. O Mo normalmente é introduzido para melhorar a resistência à corrosão por pites e reduzir a formação de fissuras. O Ni é adicionado para aumentar a resistência ao ataque de ácidos. Nb e/ou Ti são adicionados para diminuir os efeitos de sensitização do C e do N. A sensitização consiste da precipitação de filmes de $(Cr, Fe)_7C_6$ ou $(Cr, Fe)_{23}C_6$ nos contornos de grão. Os aços ferríticos têm estrutura CCC e sofrem de um sério problema no que diz respeito à tenacidade.

Aços inoxidáveis austeníticos podem ser endurecidos por trabalho mecânico a frio e são aços não-magnéticos. Possuem uma combinação de propriedades mecânicas, que lhes permite facilmente ser conformados a frio, além de apresentarem resistência melhor a corrosão pela adição de níquel a sua liga. O aço típico desta família é o AISI 304. Os aços inoxidáveis austeníticos são utilizados para fins estruturais, equipamentos para indústria alimentícia, aeronáutica, ferroviária, petrolífera, química e petroquímica, papel e celulose, construção civil, etc. (MESQUITA, 1997).

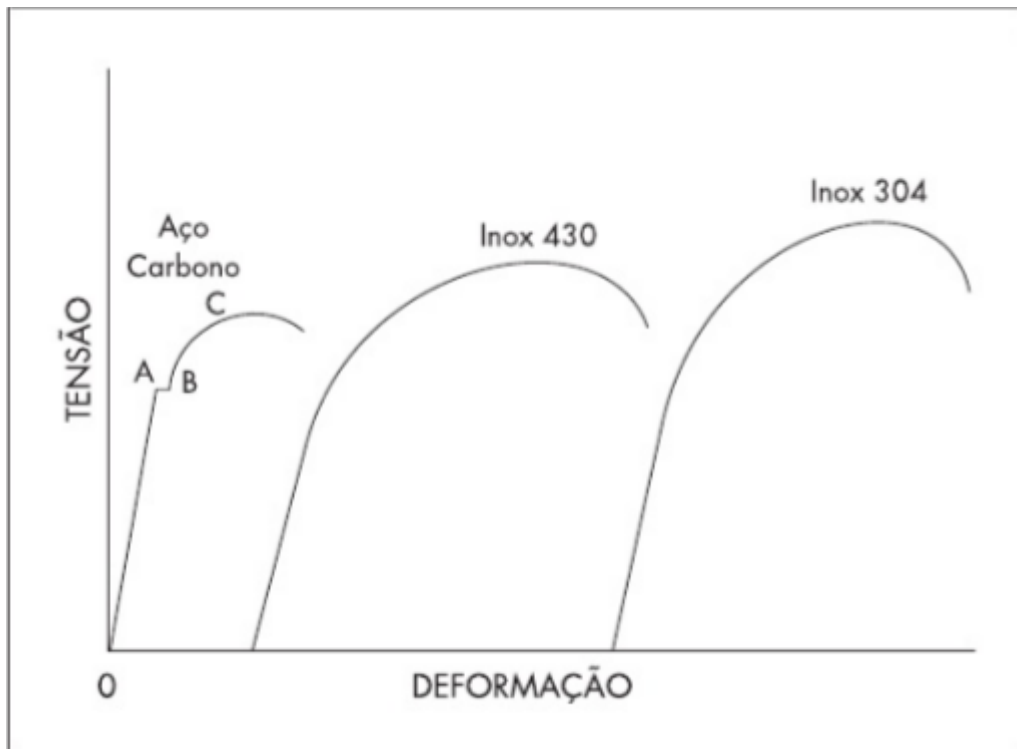
Aços inoxidáveis austeníticos possuem estrutura cúbica de face centrada CFC. São tenazes a baixas temperaturas, têm boa formabilidade, soldabilidade e resistência à corrosão. Sua liga contém tipicamente 18% Cr e 8% Ni e pode ser ligada com molibdênio e outros elementos (LESLIE, W. C, 1981, *apud* CÂNDIDO, 2003).

2.7 Comportamentos Mecânico dos Aços Inoxidáveis

Segundo Mesquita (1997), os processos de conformação mecânica dos aços inoxidáveis são semelhantes aos dos aços carbono, cuja tecnologia é de domínio geral. Porém, diferentes parâmetros de equipamentos devem ser definidos para cada aço, devido aos diferentes comportamentos mecânicos existentes entre ligas de aço carbono e ligas de aço inox.

Para demonstrar esses diferentes comportamentos mecânicos, utiliza-se a curva tensão-deformação. Na figura 16 a seguir três corpos de prova com medidas padrão são submetidos a um esforço de tração crescente até a sua ruptura.

Figura 16: Curva tensão-deformação de três corpos de prova com medidas padrão são submetidos a um esforço de tração crescente até a sua ruptura



Fonte: Mesquita (1997, p.9)

Segundo Mesquita (1997) dois domínios bem definidos são revelados pelo ensaio:

O domínio elástico representado por (0-A) onde cessado o esforço, o corpo de prova retorna as dimensão iniciais, pois dentro desse regime as deformações não são permanentes. Cada valor de tensão corresponde a uma deformação própria para cada aço.

O domínio plástico (B-C) onde mesmo cessado o esforço com corpo de prova dentro desse domínio ele não retorna às dimensões originais. Para cada tensão, nesse caso corresponde uma deformação permanente.

O ponto de escoamento é o ponto para o qual o corpo de prova sofre deformação sem nenhum acréscimo de tensão, localizado na transição entre os dois domínios (A-B). Essa transição não é tão visível nos aços inoxidáveis quanto nos aços carbono. Assim, para se determinar o limite de escoamento (L_e) dos aços inoxidáveis, utiliza-se o ponto na curva determinado pela intersecção de uma paralela à reta que define o domínio elástico (0-A) a 0,2% de deformação permanente. O ponto C é definido como limite de resistência (LR).

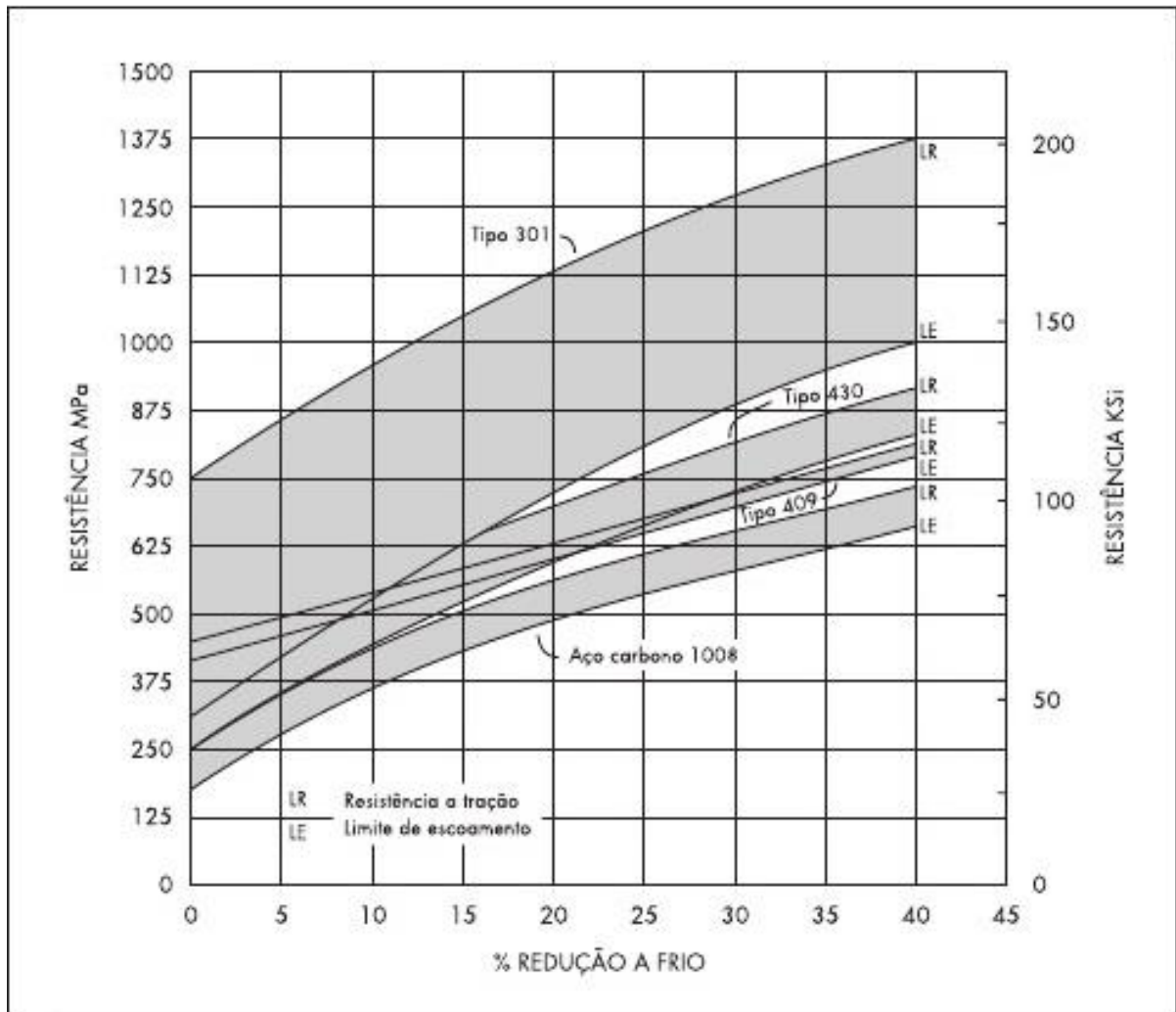
Cada aço possui uma curva tensão-deformação típica. O limite de escoamento do aço carbono (1008) é ligeiramente mais elevado que o dos aços inox dos tipos 430 e 304 para a condição de aços recozidos. Porém, o limite de resistência dos aços inoxidáveis é superior ao

dos aços carbono e essa condição vai influenciar todos os processos de conformação nos quais ocorre deformação permanente (MESQUITA, 1997).

Isso ocorre porque o domínio plástico (B-C) dos aços inoxidáveis é muito maior do que o dos aços carbono. Portanto, os aços inoxidáveis suportam maiores deformações sem que ocorram falhas no componente. Dentre os aços inoxidáveis, os aços austeníticos (por exemplo, o 304) apresentam esse ramo plástico maior do que os aços ferríticos (por exemplo, o 430) sendo especificados para conformações profundas (MESQUITA, 1997).

Entre os aços inoxidáveis e os aços carbono há ainda a diferença de comportamento ao trabalho mecânico a frio devido ao encruamento que é o fenômeno de aumento das características dureza, limites de escoamento, de resistência e de cisalhamento pelo efeito de trabalho mecânico. A figura 17 a seguir mostra a evolução do LE e do LR com a variação de deformações a frio impostas a aços inoxidáveis tipos 301 (austenítico), 409, 430 (ferríticos) e aço carbono 1008. Essas diferenças de comportamento ao trabalho mecânico a frio figura 17, demonstram que os esforços necessários para a conformação dos aços inoxidáveis são consideravelmente maiores que os exigidos para os aços carbono (MESQUITA, 1997).

Figura 17: Comparação dos encruamentos de aços: austenítico (301), ferríticos (430 e 409) e baixo carbono (1008).



Fonte: Mesquita (1997, p.10)

Em condições equivalentes, os aços inox além de terem o limite de escoamento superior aos aços carbono. Seus limites de resistência e escoamento crescem a uma taxa de crescimento maior que a dos aços carbono como pode ser observado na tabela 3 (MESQUITA, 1997).

Tabela 3: Propriedades mecânicas

	*LR MPa	*LE (Mpa)	Alongamento 50mm (%)	Dureza Rockwell B	LF (MPa)	Dobramento frio (0)	Embutimento Erichsen (mm)
P409A/S	390	210	38	65	-	180	10
P430A	480	330	27	80	-	180	9
P430E	430	300	30	78	-	180	8
P439A	445	280	37	74	-	180	9
P441A	460	300	35	78	-	180	10
P444A	-	-	-	-	-	180	10

Fonte: Cândido (2003, p.30)

2.8 Composições Químicas dos Aços Inoxidáveis

A tabela a seguir apresenta a faixa de composição química visada dos aços inoxidáveis produzidos comercialmente.

Tabela 4: Composição química de aços inoxidáveis (%)

Aço ABNT	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti
301	0,15 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,030 máx.	16,00 a 18,00	6,00 a 8,00	-	-
302	0,15 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,03 0máx	17,00 a 19,00	8,00 a 10,00	-	-
304	0,08 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,030 máx.	18,00 a 20,00	8,00 a 10,50	-	-
304L	0,03 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,030 máx.	18,00 a 20,00	8,00 a 12,00	-	-
316	0,08 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,030 máx.	16,00 a 18,00	10,00 a 14,00	2,00 a 3,00	-
316L	0,03 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,030 máx.	16,00 a 18,00	10,00 a 14,00	2,00 a 3,00	-
321	0,08 máx.	2,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,030 máx.	17,00 a 19,00	9,00 a 12,00	-	0,70 máx.
409	0,08 máx.	1,00 máx.	1,00 máx.	0,045 máx.	0,045 máx.	10,50 a 11,75	-	-	0,75 máx.
410	0,15 máx.	1,00 máx.	1,00 máx.	0,040 máx.	0,030 máx.	11,50 a 13,50	-	-	-
420	0,15 máx.	1,00 máx.	1,00 máx.	0,040 máx.	0,030 máx.	12,00 a 14,00	-	-	-
430	0,12 máx.	1,00 máx.	1,00 máx.	0,040 máx.	0,030 máx.	16,00 a 18,00	-	-	-

Fonte: Cândido (2003, p.27)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

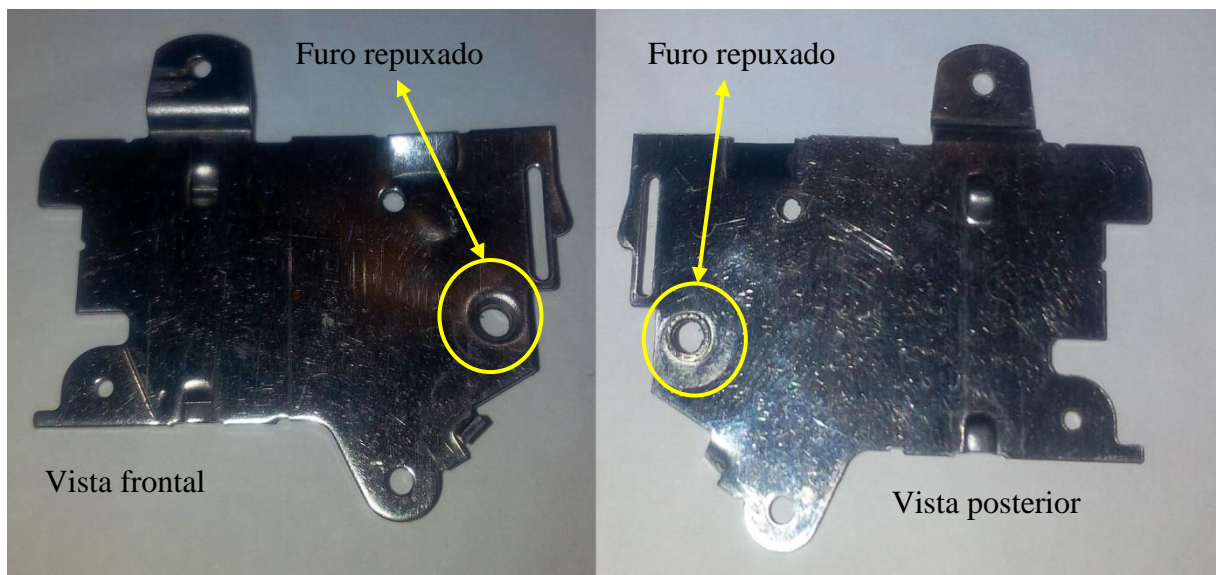
Para possibilitar o estudo de amostras e verificar qual há influência de uma operação de pré-repuxo no acabamento e nas dimensões finais de furos repuxados, foram realizados testes de estampagem. Nos testes foram estampadas amostras em aço SAE 1006 e aço inox AISI 430, com a operação de pré-repuxo e sem a operação de pré-repuxo.

Devido há necessidade da realização dos testes foi implantado um sistema de pré-repuxo, em uma ferramenta da empresa WEG Equipamentos Elétricos S.A que apresentava problemas para obter um furo repuxado dentro dos parâmetros especificados pelo projeto da peça, que é a altura do repuxo dentro da tolerância de 1mm a 1,3mm e a espessura da parede o mais homogenia possível.

3.1 Produto de Estudos

Na fabricação de um disjuntor da WEG Drives e Controls utiliza-se uma peça estampada representada na figura 18. Porém, tem-se uma grande dificuldade em atingir as medidas de projeto de um furo repuxado que está presente nessa peça estampada.

Figura 18: Peça estampada



Fonte: o autor (2016)

Dessa dificuldade surgiu a necessidade de desenvolver estudo para corrigir as falhas de estampagem. Para isso foi realizado uma pesquisa teórica e implantado um sistema de pré-

repuxo para efetuar esta correção. Para comprovar a eficiência deste sistema foram realizados os testes listados a seguir e analisados os resultados conforme visto no quadro 5.

Quadro 5: Testes de Estampagem Realizados

Material da chapa	Processo de repuxo do furo
Aço inox AISI 430	Direto
Aço inox AISI 430	Com pré-repuxo
Aço SAE 1006	Direto
Aço SAE 1006	Com pré-repuxo

Fonte: o autor (2016)

3.2 Aplicação

Os testes de estampagem foram realizados na seção de estamparia da WEG DRIVERS E CONTROLS em Jaraguá do Sul – SC, em uma prensa CNC excêntrica, porém a realização dos testes foi feita com a prensa em modo manual. A análise das amostras estampadas foi realizada com uso de um estereoscópio e de um paquímetro digital.

3.3 Materiais Utilizados

O aço inox AISI 430 foi usado nos testes porque a peça empregada na fabricação do disjuntor é fabricada com o mesmo e apresenta defeitos no acabamento e nas suas dimensões com o método utilizado para estampagem, situação que alavancou o desenvolvimento deste trabalho. Já o aço SAE 1006 foi utilizado para efeito de estudos para verificar se existem os mesmos defeitos de estampagem que ocorrem no aço inox AISI 430 e com isso prever problemas de ferramentas que serão fabricadas no futuro.

Para a realização dos testes foram estampados cinco corpos de prova para cada ensaio seguindo a quantidade padrão de corpos de prova da empresa Weg, totalizando vinte corpos de prova. Dez em aço inox AISI 430 e dez em aço SAE 1006 sendo que em cada material foram estampados cinco corpos de prova com o sistema de pré-repuxo e cinco sem o sistema de pré-repuxo, ou seja, com repuxo direto.

Na realização da estampagem dos corpos de prova foi utilizado uma prensa CNC excêntrica da marca Yamada modelo NXT80, conforme visto na figura 19, empregando-se uma ferramenta já existente, (apenas foi acrescentado um sistema de pré-repuxo na mesma).

Figura 19: Prensa utilizada nos testes



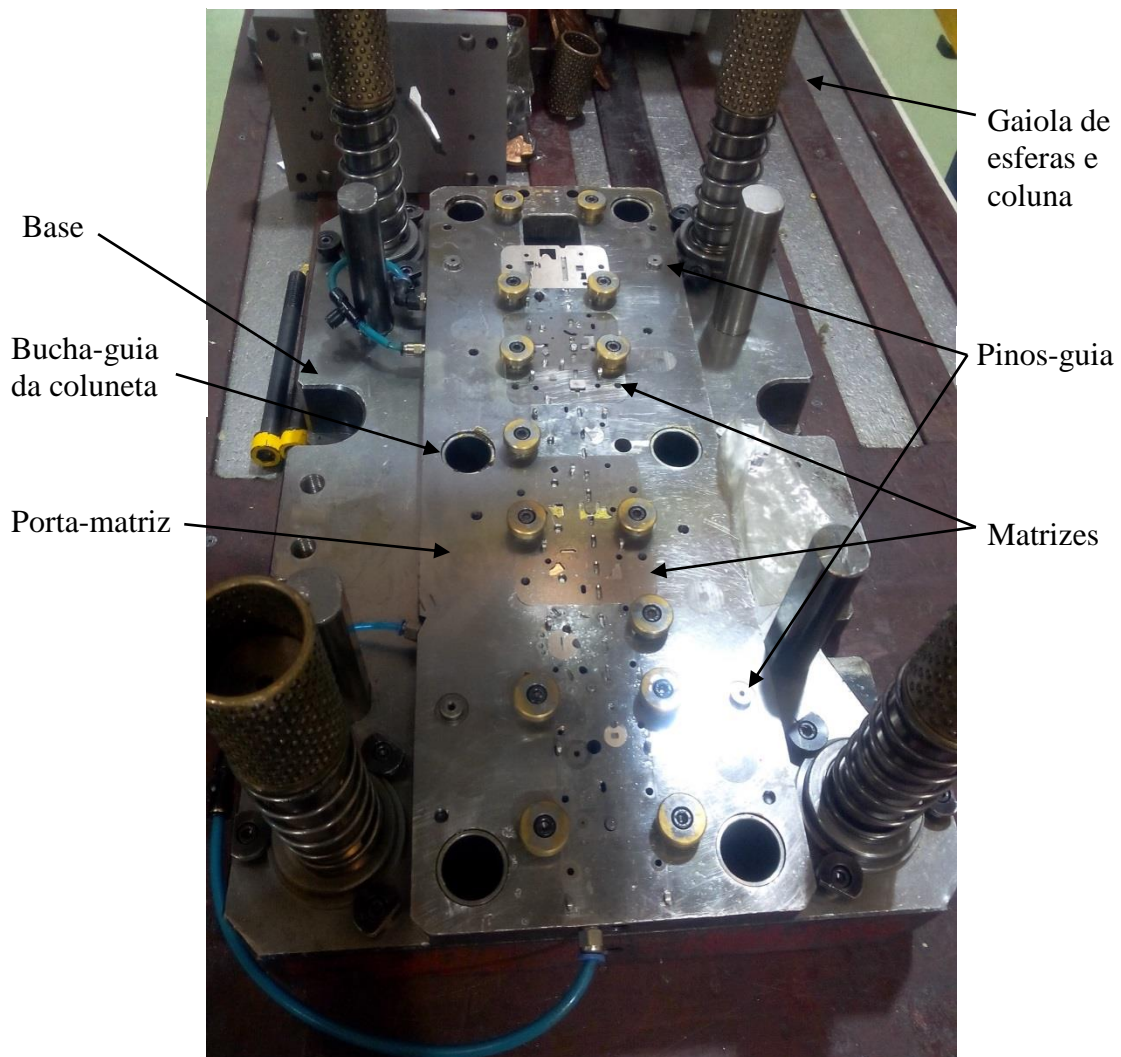
Fonte: o autor (2016)

3.3.1 Descrição da Ferramenta

A ferramenta é de fabricação interna da empresa e identificada como F-17710, a mesma conta com um conjunto de base e cabeçote fabricados de aço SAE 1045 e um conjunto de colunas, buchas guias e gaiolas de esferas fabricados em aço Villares VC131 para

centralizar e dar rigidez ao movimento de estampagem. A ferramenta possui na parte inferior, conforme representado na figura 20, um porta-matriz fabricado em aço SAE 1045, fixado a base por quatro pinos-guia que são usinados em uma retífica de coordenadas para garantir a centralização dos pinos em relação à base, ao conjunto de buchas-guia das colunetas e aos alojamentos das matrizes.

Figura 20: Parte inferior da ferramenta

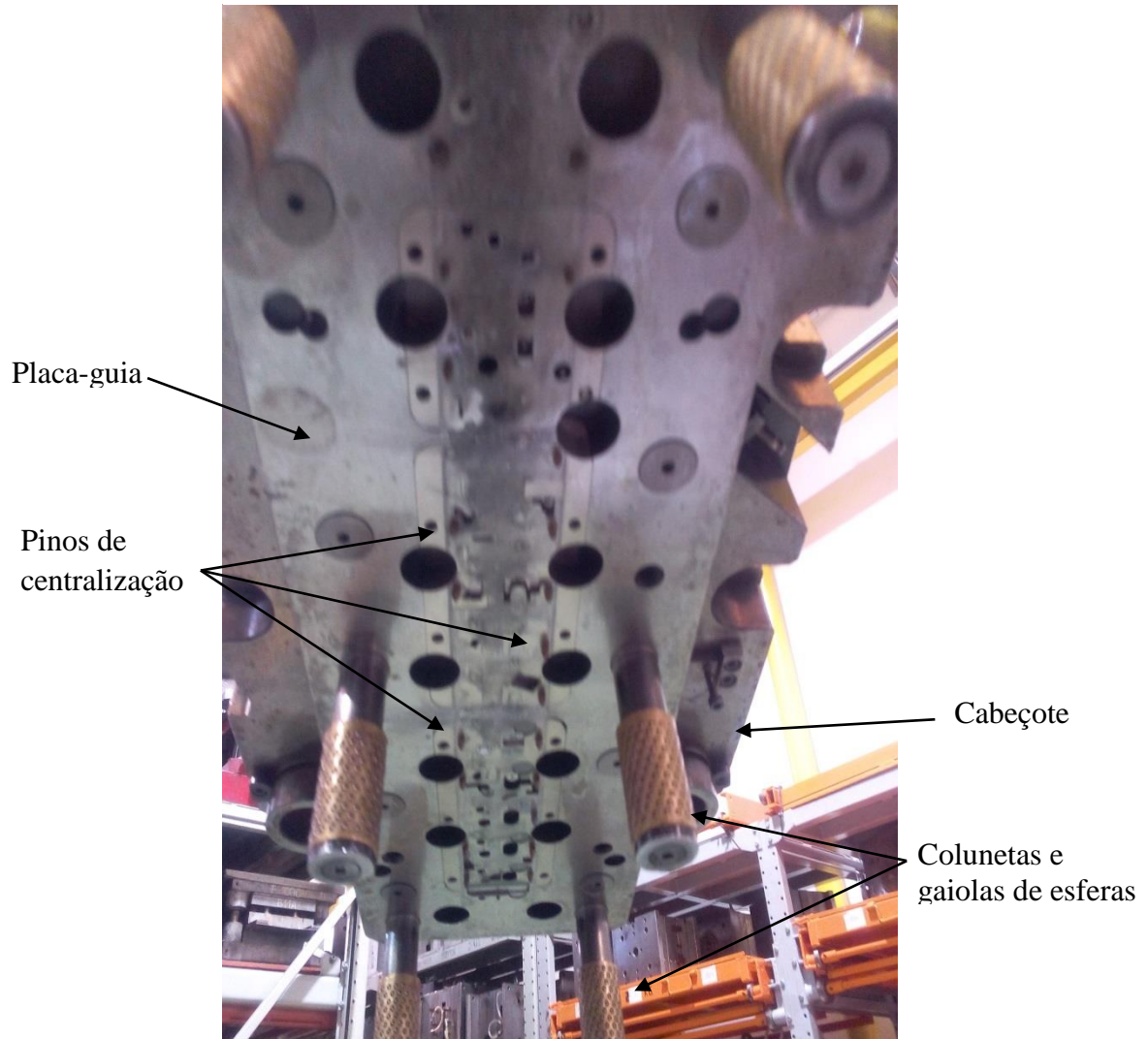


Fonte: o autor (2016)

O conjunto de matrizes e punções são fabricados em aço-ferramenta VC131, pela seção de Usinagem de Precisão com o uso dos métodos de eletroerosão e retificação. Para a centralização da penetração do punção na matriz utiliza-se uma placa guia, presente na parte superior da ferramenta e representada na figura 21, centralizada através de colunetas ao porta-matriz. A mesma também é feita em aço VC131 e usinada através dos processos de

eletroerosão a fio e retífica de coordenadas a fim de garantir uma folga de 0,005mm por lado nos perfis de passagem dos punções e pinos de centralização. Do punção para a matriz há uma folga de corte total de 10% da espessura da chapa, ou seja, 0,04mm por lado.

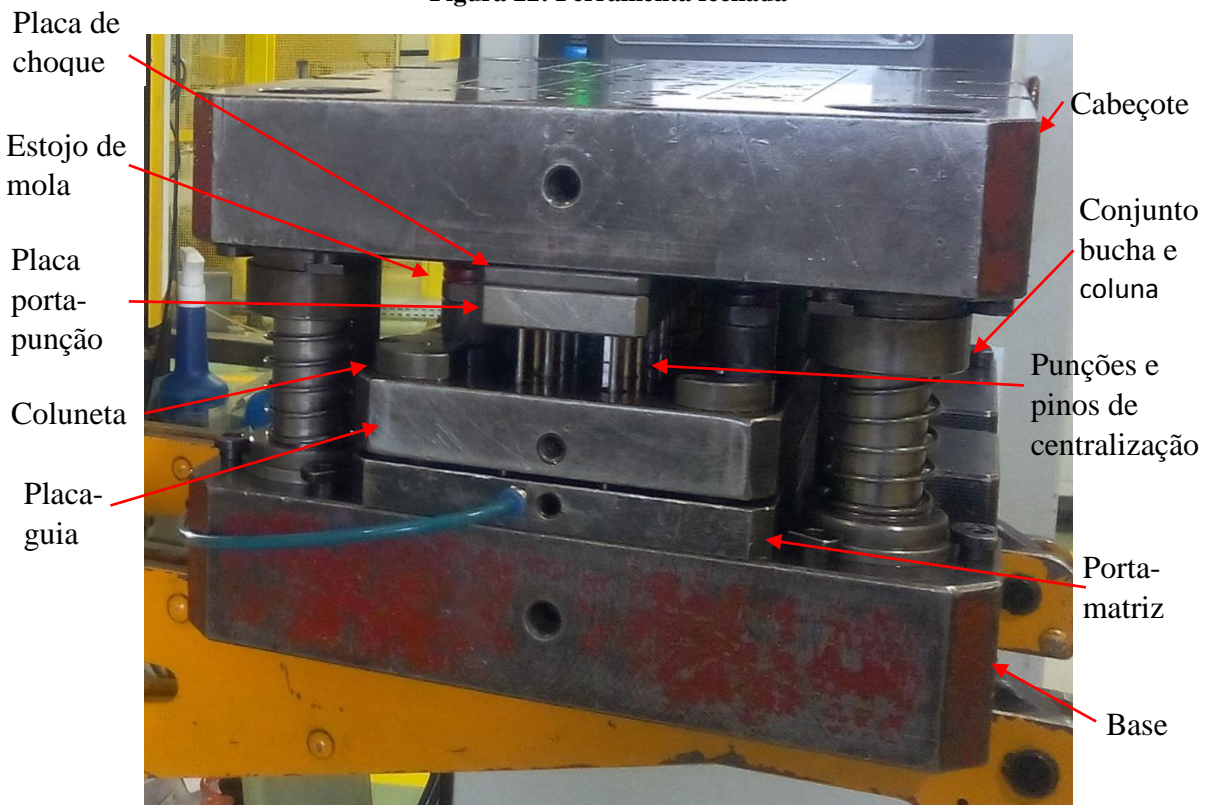
Figura 21: Parte superior de ferramenta



Fonte: o autor (2016)

A ferramenta ainda conta com um conjunto de pinos de centralização fabricados em aço VC131 e revestidos com uma camada de nitreto de titânio para evitar o desgaste; um porta-punção de aço SAE 1045 onde são alojados os punções com cabeça. E também uma placa de choque temperada para absorver o impacto dos punções na estampagem para não danificar o cabeçote, conforme ilustrado pela figura 22.

Figura 22: Ferramenta fechada

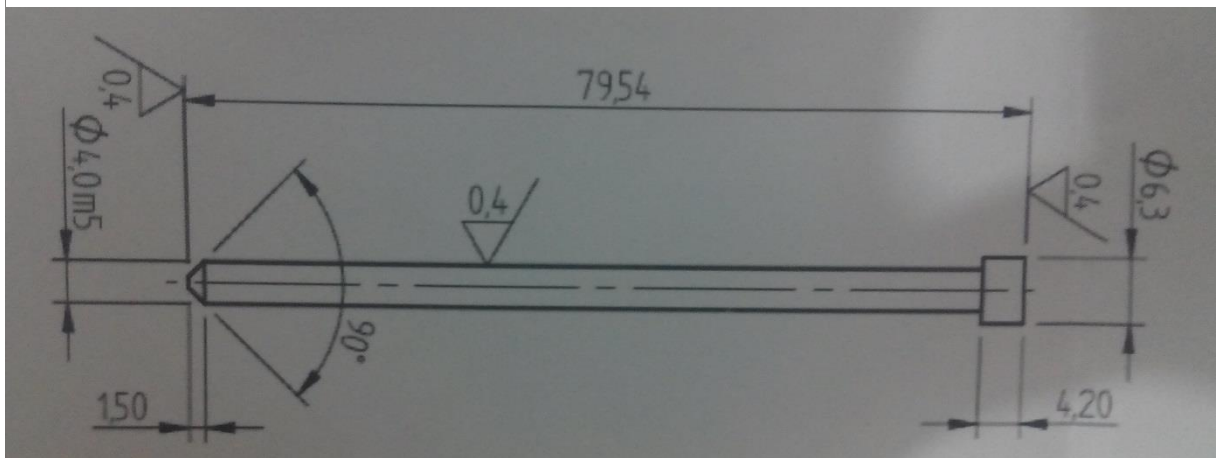


Fonte: o autor (2016)

O objetivo do trabalho é verificar a influência do pré-repuxo para melhorar ou corrigir falhas nas dimensões de altura, diferenças na espessura da parede e o paralelismo entre a superfície da peça e o fundo do furo repuxado. Para solucionar os defeitos de estampagem do repuxo do furo, a ferramenta foi modificada na ferramentaria da empresa WEG, acrescentando-se nela um estágio a mais de estampagem. Nesse estágio contém um punção de pré-repuxo conforme visto na figura 23 e uma matriz de pré-repuxo. Sendo assim a ferramenta passou a contar com três estágios para realizar o repuxo. Onde o primeiro estampa o furo inicial, o segundo o pré-repuxo e o terceiro o do repuxo final (apêndice C).

Após a modificação, a ferramenta passou de 15 para 16 estágios de estampagem (apêndice D). Por se tratar de um estampo progressivo adicionar mais estágios de estampagem não interfere na produtividade, portanto, não aumenta o custo de produção das peças estampadas. Foi necessário apenas um investimento na ferramenta para realizar a melhoria (apêndice E). A ferramenta conta ainda com 19 pinos centradores com folga de 0,02 mm em relação aos furos estampados na chapa no primeiro estágio da ferramenta para garantir a centralização entre os estágios.

Figura 23: Punção de pré-repuxo adaptado na ferramenta



Fonte: o autor (2016)

3.3.2 Equipamentos Utilizados Para Análise dos Repuxos

Para a análise das dimensões finais dos furos repuxados através dos métodos: Direto e com pré-repuxo. Em aço SAE 1006 e AISI 430, foi utilizado um paquímetro digital conforme visto na figura 24, da marca e modelo Mitutoyo Absolute Digimatic disponível na empresa WEG.

Figura 24: Paquímetro Mitutoyo Absolute Digimatic



Fonte: o autor (2016)

Para verificar a influência do pré-repuxo para corrigir os defeitos de estampagem foram coletadas medidas de altura máxima e mínima do repuxo de cada amostra estampada para analisar o paralelismo. Também foram coletadas medidas da espessura máxima e mínima da parede do repuxo.

Na análise do aspecto visual e acabamento da parte posterior do repuxo foi utilizado um estereoscópio de marca e modelo ZEISS Axiocam ERc 5s, conforme visto na figura 25 e disponível no câmpus do IFSC.

**Figura 25: estereoscópio ZEISS
Axiocam ERc 5s**



Fonte: o autor (2016)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos através da estampagem dos corpos de prova por meio da ferramenta modificada. Foram realizados dois testes em aço inox AISI 430 e dois testes em aço SAE 1006 sendo que foi realizado um ensaio de estampagem direta, para cada tipo de aço e um ensaio de estampagem com pré-repuxo para cada tipo de aço. Para cada teste de estampagem foram coletadas cinco amostras.

4.1 Aço Inox AISI 430 Repuxado Direto

As amostras retiradas deste processo tiveram grande variação da altura, representado na tabela 5 por altura máxima. Nesse processo também se obteve a maior variação da espessura da parede, caracterizando assim um problema de fragilização da área repuxada. As medidas obtidas podem ser vistas na tabela 5:

Tabela 5: Medidas obtidas com aço 430 repuxado direto (dimensões em mm)

	Altura máxima	Altura mínima	Diferença	Espessura máxima	Espessura mínima	Diferença
Amostra 1	1,42	0,85	0,57	0,35	0,22	0,13
Amostra 2	1,35	0,88	0,47	0,32	0,21	0,11
Amostra 3	1,44	0,83	0,63	0,36	0,20	0,16
Amostra 4	1,40	0,86	0,54	0,34	0,22	0,12
Amostra 5	1,87	0,87	0,50	0,33	0,20	0,13
Média	1,40	0,86	0,54	0,34	0,21	0,13

Fonte: o autor (2016)

Essas grandes variações de alturas máximas elevam muito o grau de incerteza do processo de estampagem, tornando a homogeneidade requerida nas peças muito difícil de ser alcançada. O acabamento do fundo do furo apresenta certos índices de rebarbas e estrias que podem ser vistas na figura 26.

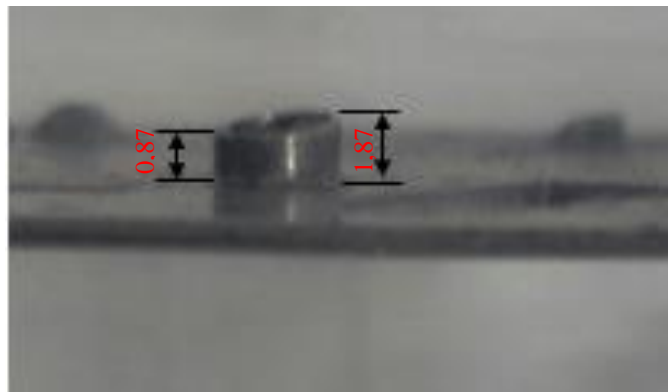
Figura 26: Aço AISI 430 repuxado direto



Fonte: o autor (2016)

Uma grande diferença entre a altura máxima e mínima que pode ser observada na figura 27, assim resultando em um grande problema de paralelismo entre a superfície da peça e o fundo do furo repuxado.

Figura 27: Repuxado direto (dimensões em mm)



Fonte: o autor (2016)

4.2 Aço Inox AISI 430 com pré-repuxo

Comparando as amostras deste processo com as amostras de repuxo direto, obteve-se uma melhora considerável em relação à variação de altura, onde a variação de altura máxima, no processo com pré-repuxo foi muito baixa como pode ser visto na tabela 11.

Tabela 6: Medidas obtidas com aço 430 com pré-repuxo (dimensões em mm)

	Altura máxima	Altura mínima	Diferença	Espessura máxima	Espessura mínima	Diferença
Amostra 1	1,29	1,00	0,29	0,40	0,30	0,10
Amostra 2	1,29	1,03	0,26	0,41	0,32	0,09
Amostra 3	1,30	1,02	0,28	0,40	0,35	0,05
Amostra 4	1,30	1,03	0,27	0,42	0,33	0,09
Amostra 5	1,29	1,00	0,29	0,41	0,32	0,09
Média	1,29	1,02	0,29	0,41	0,32	0,08

Fonte: o autor (2016)

Realizando o repuxo com esse processo obteve-se uma diminuição na diferença entre altura máxima e mínima amenizando o problema de paralelismo das faces conforme visto na figura 28. Verificou-se também maior homogeneidade entre as peças estampadas, nota-se que a variação de altura máxima gira em torno de 0,01mm e da mínima de 0,03mm. Devido à diminuição da variação de altura máxima e mínima é possível atender a altura de 1,00 mm a 1,30 mm, especificada no projeto da peça estampada.

Figura 28: Repuxado com pré-repuxo

Fonte: o autor (2016)

Também nota-se que a diferença entre as espessuras das paredes diminuíram e ainda ganhou-se aproximadamente 0,1 mm de espessura, tanto para a máxima, quanto para a mínima, em relação às amostras obtidas através do processo de repuxo direto. Tornando as paredes do repuxo mais robustas, sendo assim, diminuindo as chances de quebra do repuxo.

Em relação ao acabamento nota-se uma diminuição aparente na rebarba e na profundidade das estrias como pode ser visto na figura 29.

Figura 29: Aço 430 com pré-repuxo

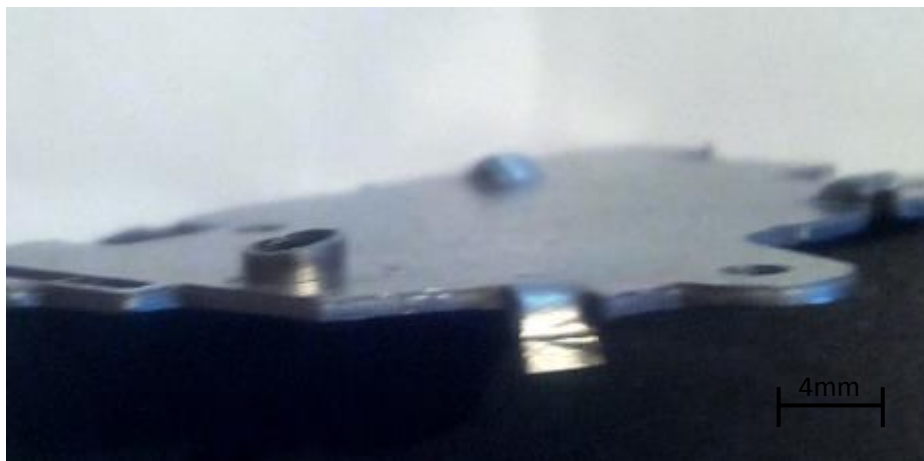


Fonte: o autor (2016)

4.3 Aço SAE 1006 direto

Analisando os resultados obtidos com esse material verifica-se que o aço SAE 1006 apresentou os mesmos defeitos de estampagem vistos no aço AISI 430. As amostras apresentaram grande variação de altura e também grande variação de paralelismo, como pode ser visto na figura 30, tornando as peças obtidas através do processo de estampagem não homogêneas e prejudicando a repetitividade do processo de fabricação.

Figura 30: 1006 repuxado direto



Fonte: o autor (2016)

A diferença entre altura máxima e mínima teve em média uma leve diminuição em relação ao aço AISI 430 repuxado direto. A diferença da espessura máxima e mínima da

parede do repuxo também apresentou uma diminuição em relação ao aço AISI 430 repuxado direto e igualando-se ao aço AISI 430 com pré-repuxo como pode ser visto na tabela 7.

Tabela 7: Medidas obtidas com aço 1006 repuxado direto (dimensões em mm)

	Altura máxima	Altura mínima	Diferença	Espessura máxima	Espessura mínima	Diferença
Amostra 1	1,25	0,96	0,29	0,31	0,25	0,06
Amostra 2	1,27	0,75	0,52	0,30	0,20	0,10
Amostra 3	1,20	0,91	0,29	0,32	0,26	0,06
Amostra 4	1,21	0,91	0,30	0,34	0,21	0,13
Amostra 5	1,30	0,74	0,56	0,31	0,24	0,07
Média	1,25	1,66	0,39	0,32	0,23	0,08

Fonte: o autor (2016)

As amostras repuxadas em aço SAE 1006 direto apresentaram aspecto visual melhor que as amostras repuxadas em aço AISI 430 direto. As amostras apresentam poucas estrias e praticamente nenhuma rebarba conforme visto na figura 31. Visualmente o acabamento ficou parecido com o das amostras repuxadas com pré-repuxo em aço AISI 430.

Figura 31: Aço 1006 repuxado direto



Fonte: o autor (2016)

4.4 Aço SAE 1006 com pré-repuxo

As amostras obtidas através deste processo chegaram à alturas maiores que nos outros testes, mas mantiveram uma diferença entre altura máxima e mínima consideravelmente grande, conforme visto na figura 32, isso gera o problema de paralelismo entre o fundo do repuxo e a superfície da peça.

Figura 32: 1006 com pré-repuxo



Fonte: o autor (2016)

Também não se teve aumento significativo na espessura da parede do repuxo comparando com as amostras repuxadas diretas, porém nota-se uma grande diminuição da diferença entre espessura máxima e mínima em relação a todos os outros testes, como pode ser visto na tabela 8.

Tabela 8: Medidas obtidas com aço 1006 com pré-repuxo (dimensões em mm)

	Altura máxima	Altura mínima	Diferença	Espessura máxima	Espessura mínima	Diferença
Amostra 1	1,58	1,25	0,33	0,32	0,25	0,07
Amostra 2	1,57	1,24	0,33	0,31	0,25	0,06
Amostra 3	1,56	1,24	0,32	0,30	0,27	0,03
Amostra 4	1,58	1,23	0,35	0,32	0,23	0,09
Amostra 5	1,56	1,23	0,33	0,31	0,25	0,06
Média	1,57	1,24	0,33	0,31	0,25	0,06

Fonte: o autor (2016)

No acabamento da face repuxada houve uma melhora em relação ao repuxado direto, aparentemente não se vê estrias profundas, como pode ser visto na figura 33.

Figura 33: Aço SAE1006 com pré-repuxo



Fonte: o autor (2016)

4.5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Através dos resultados obtidos nos testes, dimensionamento das áreas repuxadas e análise das imagens macroscópicas e utilizando as médias apresentadas na tabela 14, podem-se comentar algumas colocações que foram percebidas ao longo do estudo.

Tabela 9: Médias gerais (dimensões em mm)

Material estampado	Altura do repuxo	Média de altura máxima	Média de altura mínima	Média de diferença	Média de espessura máxima	Média de espessura mínima	Média de diferença
430 direto	1 a 1,3	1,40	0,86	0,54	0,34	0,21	0,13
1006 direto	1 a 1,3	1,25	0,86	0,39	0,32	0,23	0,08
430 com pré-repuxo	1 a 1,3	1,29	1,02	0,29	0,41	0,32	0,08
1006 com pré-repuxo	1 a 1,3	1,57	1,24	0,33	0,31	0,25	0,06

Fonte: o autor (2016)

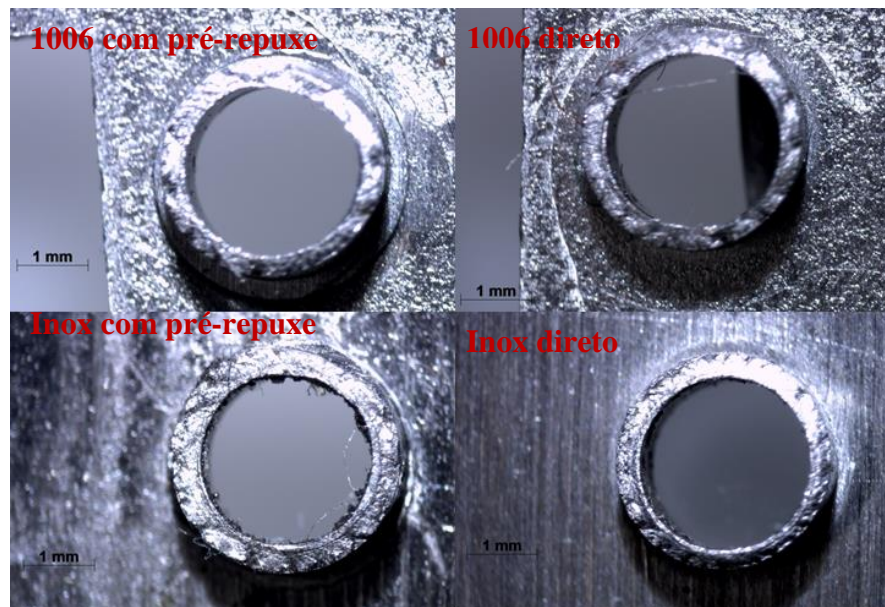
Com a presença do pré-repuxo a altura das áreas repuxadas é mais constante. Dentre as cinco amostras analisadas em aço inox AISI 430 com pré-repuxo a maior diferença de altura encontrada foi de 0,01mm e para o aço SAE 1006 foi de 0,02mm. Já para as amostras

repuxadas sem o pré-repuxo (direto) foi 0,47mm para o aço inox AISI 430 e 0,1 mm para o aço SAE 1006.

Com relação ao paralelismo nota-se que a operação de pré-repuxo ameniza consideravelmente o problema, ao analisar as cinco amostras observa-se que a maior diferença entre as alturas máxima e mínima para o aço inox AISI 430 encontrada foi de 0,30mm, a média foi de 0,29mm. Já para o aço SAE 1006 a maior diferença foi de 0,35mm, a média foi de 0,33mm. Em comparação o aço inox 430 sem pré-repuxo (direto) a maior diferença foi de 0,63mm, a média foi de 0,54mm e o aço SAE 1006 direto a maior diferença foi de 0,56mm, a média foi de 0,39mm.

Em relação ao acabamento e a espessura da parede a operação de pré-repuxo influi positivamente, pode ser visto na figura 34 que as peças com pré-repuxo apresentam menores índices de rebarbas e estrias. Também nota-se uma maior homogeneidade na espessura da parede. Onde as médias de diferença na espessura para o aço inox AISI 430 repuxado com pré-repuxo foi de 0,08mm e para o aço SAE 1006 com pré-repuxo foi de 0,06mm. A média de diferença de espessura para o aço inox AISI 430 repuxado direto foi de 0,13mm e para o aço SAE 1006 repuxado direto foi de 0,08mm.

Figura 34: Peças Ampliadas



Fonte: o autor (2016)

Realizando os cálculos segundo a revisão bibliográfica, se $\beta_0 \leq \beta_0 \text{ máx.}$, a peça poderá ser repuxada em apenas uma operação. Porém, nota-se uma influência muito positiva ao utilizar uma operação de pré-repuxo.

Cálculo do *blank*:

$$D = \sqrt{2,4^2 + 4 \times 2,4 \times 1,3}$$

$$D = 4,27083 \text{ mm}$$

Severidade máxima

$$\beta_{0_{max}} = 2,15 - 0,001 \cdot \frac{2,4}{0,8}$$

$$\beta_{0_{max}} = 2,147$$

Relação de repuxo:

$$\beta_0 = \frac{4,27083}{2,4}$$

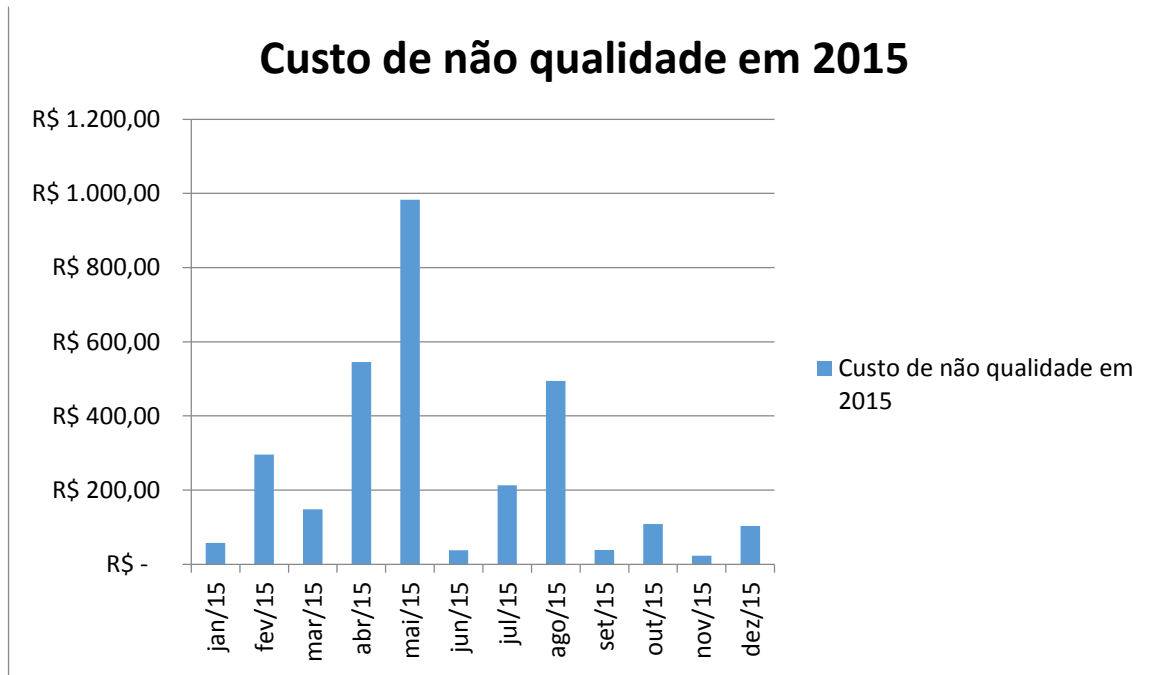
$$\beta_0 = 1,7795$$

A ferramenta F17710 possui uma demanda de estampagem de 29000 peças por mês. A mesma foi modificada no final de agosto de 2015. Verificando o número de paradas da prensa durante a estampagem com a ferramenta F17710, no período de dez meses antes da modificação, chegamos ao número de 40 paradas para a realização de reparos. Cerca de 30% dessas paradas (12 paradas) estavam relacionadas ao repuxo. Ex: quebra de punção, quebra de repuxo, amassamento do repuxo, repuxo fora do dimensional, etc. E os outros 70% estão relacionados a outros 9 problemas, por exemplo: amassamento na peça, rebarbas, punções ou matrizes quebrados, parafuso quebrado, levantamento de sucata, entupimento de saída de sucata, afiação, cotas não conforme, ajuste de elevadores e pinos de centralização.

Também pode ser visto no gráfico da figura 35 a redução dos custos de não qualidade depois de implantação da operação de pré-repuxo. Os custos de não qualidade levam em conta custos de refugos e de retrabalhos:

- custos de refugo são compostos por custo de materiais refugados, custo de hora-homem refugado, custo de hora-máquina refugada;
- custos de retrabalho são: materiais usados para retrabalho, custo de hora-homem usado para retrabalho e custo de hora-máquina usado para retrabalho.

Figura 35: Gráfico dos custos de não qualidade



Fonte: o autor (2016)

5 CONCLUSÃO

Atender os requisitos do projeto da placa de desarme se faz essencial para a montagem do disjuntor. O que não é tão fácil, pois não se encontra muita literatura sobre o processo de repuxo de um furo. Isso enfatiza a importância que esse trabalho teve para o aprimoramento e conhecimento de novas técnicas por meio de ensaios, análises e estudos na literatura específica da área.

Através da inserção de um punção de pré-repuxo na ferramenta foram realizados ensaios que possibilitaram a análise dos furos repuxados. A operação de pré-repuxo influencia positivamente no repuxo do furo. Isso possivelmente tem relação com o aumento de centralização entre o furo inicial e o repuxo final do furo e com a diminuição da quantidade de escoamento do material de uma só vez.

Os fatores que melhoraram com a presença do pré-repuxo foram a diferença de espessura da parede do repuxo, para o aço inox AISI 430 baixou a média de 0,13mm para 0,08mm. A altura do repuxo também foi mais constante com a operação de pré-repuxo. E a diferença de altura máxima e mínima baixou da média de 0,54mm para 0,29mm, ficando dentro dos 0,30mm de tolerância.

A operação de pré-repuxo não teve a mesma proporção de eficiência para o aço SAE 1006, pois a média de diferença de espessura da parede do repuxo era de 0,08mm baixou para 0,06mm. A altura do repuxo, para o repuxado direto e para o repuxado com pré-repuxo manteve-se constante. E a diferença de altura máxima e mínima baixou da média de 0,39mm para 0,33mm. Ainda assim atingindo os 0,30mm de tolerância especificada pelo projeto da peça.

Diferença na espessura da parede do repuxo e diferença de altura do repuxo, segundo a literatura são problemas ocasionados devido a distribuição errada das folgas, ou seja, a descentralização entre matriz e punção de repuxo ou neste caso pode ser a descentralização entre o furo inicial e o processo de repuxo do furo. Para melhorar mais os aspectos de acabamento do furo deve-se melhorar a centralização

O pré-repuxo também se mostra eficaz para aumentar a altura do repuxo, sem ter que diminuir o furo inicial, devido ao parcelamento do escoamento do material, o que torna a ferramenta mais robusta e diminui as paradas da prensa para manutenção corretiva.

Este trabalho atinge seu objetivo ao demonstrar que o pré-repuxo influencia no acabamento de um furo repuxado e essa operação possibilita ganhos em parada de prensa e em cumprimento de tolerâncias especificadas pelo projeto, sendo que após a realização da

melhoria no ferramental obteve-se uma redução de 50% de parada da prensa em relação a problemas com repuxo no período de 10 meses após a modificação.

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: 22 dez. 2015.

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 27 fev. 2016.

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

CÂNDIDO, Fernando Souza. **Origens do estiramento de estampagem dos aços inoxidáveis ferríticos tipo AISI 430**. 2003. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ciência dos Materiais do Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: http://www.ime.eb.br/arquivos/teses/se4/cm/Fernando_Souza_Candido.pdf acesso em 27 fev. 2016.

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

KIMINAMI, Claudio Shyinti. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos** /Claudio Shyintikiminami, Walman Benício de Castro, Marcelo Falcão de Oliveira. São Paulo: Blucher, 2013. 235p.

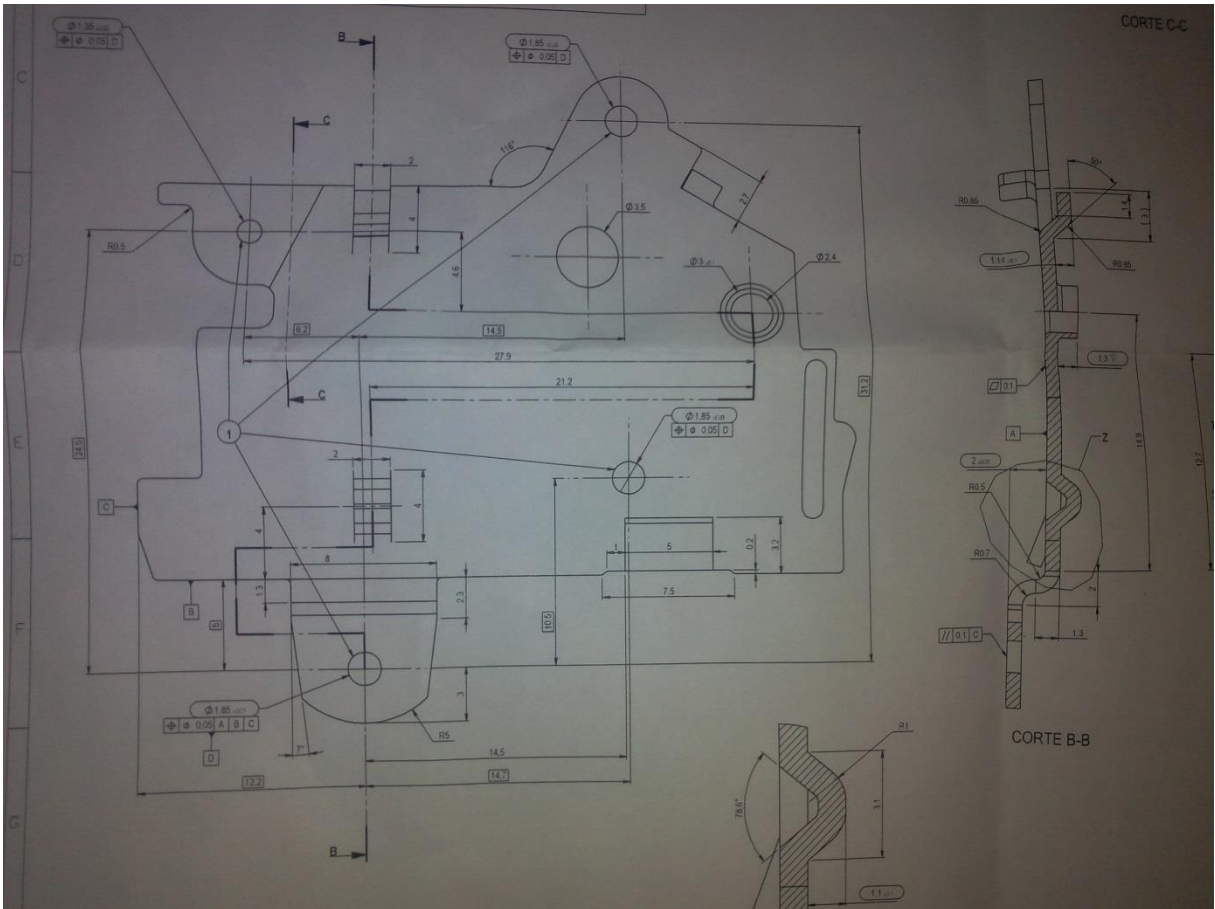
MESQUITA, Eduardo Luiz Alvares; Rugani, Léo Lucas. **Estampagem Dos Aços Inoxidáveis**. 1997. 49 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/20438776/Apostila-Aco-Inox-gem>. Acesso em: 28 mai. 2016

QUALINOX (Brasil) (Ed.). Estamparia de metais. Disponível em: <<http://www.qualinox.com.br/estamparia-de-metais.htm>>. Acesso em: 13 jan. 2016.

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: 16 abr. 2016

TELECURSO 2000 PROFISSIONALIZANTE. **Mecânica Processos de Fabricação**. São Paulo. 1997. 251p.

APÊNDICE A – Projeto da placa de desarme



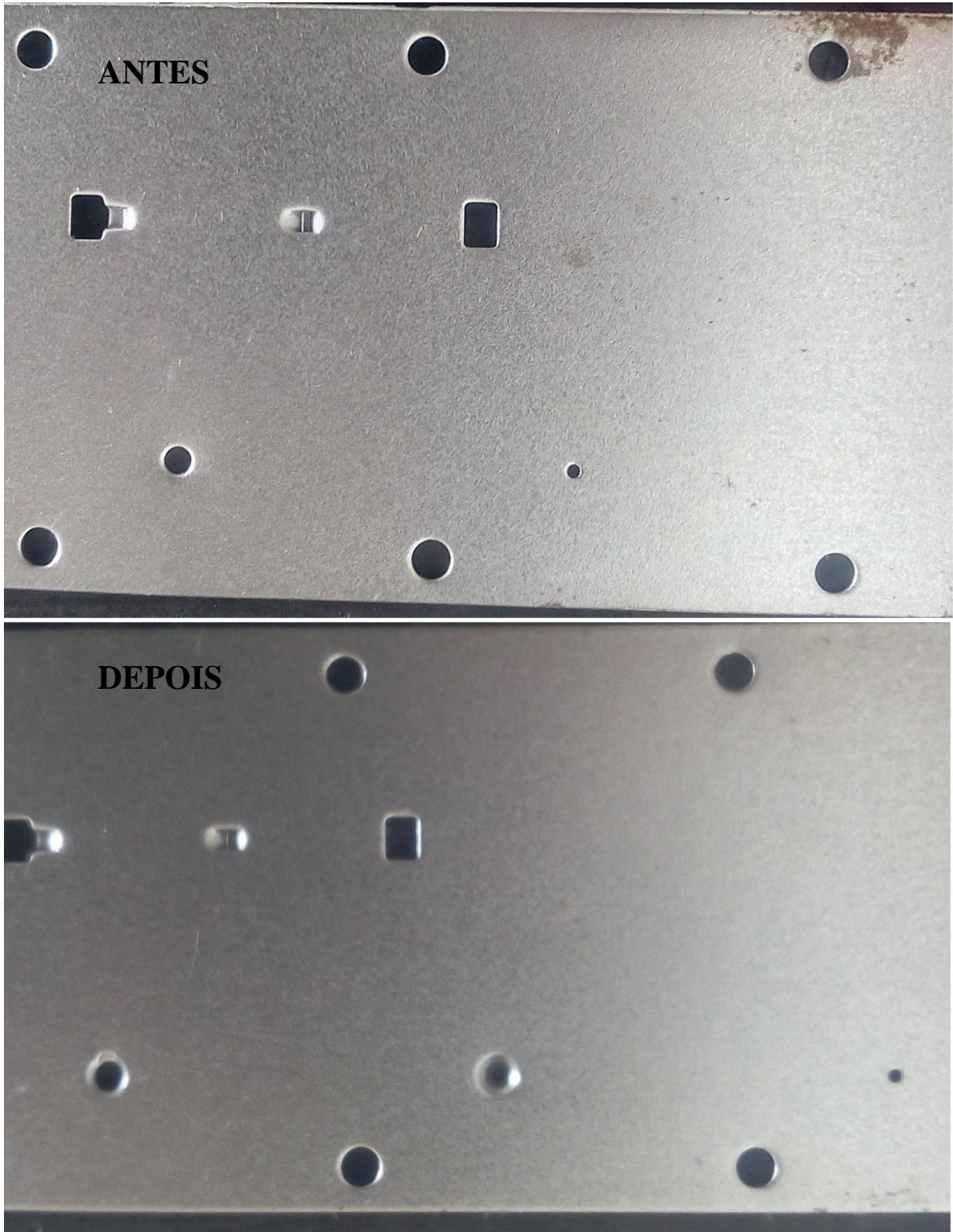
Fonte: o autor (2016)

APÊNDICE B – Disjuntor MPW25



Fonte: o autor (2016)

APÊNDICE C – Chapa estampada antes da modificação e depois da modificação



Fonte: o autor (2016)

APÊNDICE D – Chapa estampada

Fonte: o autor (2016)

APÊNDICE E – Investimento realizado na ferramenta

Descrição	Valor
Bucha matriz F17710	R\$ 245,00
Punção de pré-repuxe	R\$ 135,00
Pino de choque	R\$ 130,00
Serviço de modificação	R\$ 2680,00
Total	R\$ 3190,00

Fonte: o autor (2016)