

# ANÁLISE DO PROCESSO DE PRODUÇÃO: estudo de vida da matriz de forjamento a quente

LUÉCE MERCE DOS SANTOS PAIXÃO<sup>1</sup> & ROBSON CARLOS NOGUEIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduada em Engenharia de Produção Mecânica, [luecem@gmail.com](mailto:luecem@gmail.com)

<sup>2</sup>Professor do Curso de Engenharia de Produção Mecânica, [robson.nogueira@unifemm.edu.br](mailto:robson.nogueira@unifemm.edu.br)

---

*Caderno Saberes, n. 6, 2020*

**RESUMO** - Este trabalho teve como objetivo aumentar a vida das ferramentas de forjamentos, através de um estudo preliminar que propôs a alteração da geometria da ferramenta inferior X na região de interface com a superior. Pretendeu-se com o estudo, determinar as variáveis que prejudicam a durabilidade da ferramenta X, priorizar a causa mais grave, analisar a causa raiz e demonstrar-se as melhorias no projeto. Para tanto, realizou-se o levantamento dos motivos concretos sobre os aspectos que influenciam a vida da matriz, para posterior sugestão de melhoria aplicada ao projeto da ferramenta. Assim, o estudo colaborou para que a manutenção da ferramenta matriz fosse otimizada, impedindo, dessa forma, seu descarte prematuro.

**Palavras-chave:** Desgaste da Ferramenta. Forjamento a Quente. Projeto de Matrizes. Vida Útil.

## INTRODUÇÃO

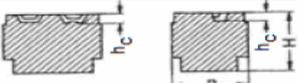
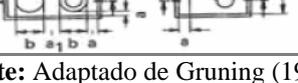
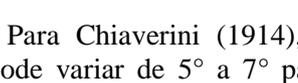
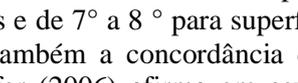
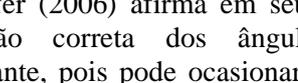
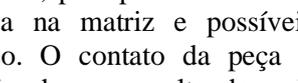
Para Chiaverini (1986), o processo de forjamento é realizado a quente, e as temperaturas devem estar acima das temperaturas de recristalização do metal, mas alguns materiais são forjados a frio. Forjamento a quente é um dos métodos de conformação de metais mais empregados na produção de peças críticas em várias indústrias. O efeito deste método de forjamento está relacionado com a vida útil das matrizes, que são limitadas pelo seu desgaste, deformação plástica e suas quebras parciais ou totais (MAGALHÃES et al., 2009). Nesse panorama automobilístico, através do forjamento a quente, o metal é aquecido previamente, o aço é mais utilizado a uma determinada temperatura e, logo após, por conformação mecânica, usando ferramentas específicas para o processo de forjamento, transformam-se em peças brutas.

Na face da matriz, é realizada manutenção após processo de forjamento, até que todo defeito existente na superfície seja retirado. Esse retrabalho, ou regravação, é necessário em função de alterações dimensionais que surgem devido a fatores como: desgaste, deformação plástica,

interrupção da lubrificação e trincas ou quebras (ALTAN, 1999). No forjamento a quente, o uso das matrizes foi o ponto em estudo e exigiu empenho maior na análise da durabilidade da ferramenta no processo de forjados, porque existia um índice de 28% de descarte das ferramentas que são inspecionadas, após o uso no forjamento.

A vida útil de ferramentas para trabalho a quente está sujeita a uma série de variáveis, sabendo que estas podem ser relacionadas ao projeto da ferramenta, condições de operação, a temperatura ideal das matrizes no processo ou aço empregado em adjunto ao tratamento térmico realizado. Essas variáveis são elementares quanto à interferência no tempo de uso das matrizes. Para que se tenha uma matriz de forjamento com uma boa vida útil, é necessária uma boa relação entre todas as variáveis. Em relação ao projeto da ferramenta de forjamento, cabe ressaltar, conforme menciona Dieter (1981) que o projeto de matrizes deve contemplar afunilamentos que permitam a remoção das peças forjadas, com ângulo de saída de 5° para aços. Grunning (1973) e Lange (1994) defendem que a distância entre a cavidade e a boca da matriz deve ser definida de acordo com suas profundidades, conforme TAB. 1:

TABELA 1 - Dimensões mínimas das matrizes

	Profundidade da cavidade "h <sub>c</sub> " [mm]	Espessura mínima de parede entre aresta exterior e a cavidade "a" [mm]	Espessura mínima de parede entre duas cavidades "a <sub>1</sub> " [mm]	Altura mínima da matriz "H" [mm]
	6	12	10	100
	10	32	25	125
	25	40	32	160
	40	56	40	200
	63	80	56	250
	100	110	80	315
	125	130	100	355
	160	160	110	400

Fonte: Adaptado de Gruning (1973) e Lange (1994).

Para Chiaverini (1914), o ângulo de saída pode variar de 5° a 7° para superfícies internas e de 7° a 8° para superfícies externas, como também a concordância dos cantos. Já Schaeffer (2006) afirma em seu artigo que a definição correta dos ângulos é muito importante, pois pode ocasionar o travamento da peça na matriz e possíveis paradas no processo. O contato da peça com a matriz diminui a dureza, resultando maior desgaste da superfície. Se aumentar o ângulo, por outro lado, pode ocasionar rebarbas. Dessa forma, a possibilidade de inserção de ângulo aumenta a dificuldade de preencher totalmente a matriz.

O efeito deste método de forjamento está relacionado com a vida útil das matrizes, que são limitadas pelo seu desgaste, deformação plástica e suas quebras parciais ou totais (MAGALHÃES et al., 2009). No processo a quente, a matriz absorve temperatura da peça. Por isso, o aço ferramenta deverá ter alta resistência mecânica, boa dureza e capacidade de permanecer com esses parâmetros por períodos extensos, com exposição às altas temperaturas. Para essa aplicação são usados os aços de classe H, com composição química que tem como base: Cromo (H11 até H19); Tungstênio (H20 até H39) e Molibdênio (H40 a H59). (KIM, 2005). Assim, com este estudo, estimou-se maximizar a vida útil da matriz inferior X. De posse dos itens que afetam a durabilidade das matrizes, propôs-se amenizar o número de ferramentas

sendo descartadas por privação de usinabilidade e diminuir o número de peças forjadas com rebarbas. Os resultados desta pesquisa trouxeram benefícios efetivos, pois a ferramenta dentro dessa nova geometria está satisfatória para a Forjaria em relação às peças dentro da especificação e, além disso, a Ferramentaria pôde estabelecer uma previsão para confecção de novas ferramentas de uma forma mais assertiva.

O desenvolvimento deste trabalho teve como base os dados de produção, bem como a quantidade de peças produzidas. Desejou-se detectar o fator principal que influencia na perda de vida da ferramenta, fazendo uso de ferramentas da qualidade e análise de soluções de problemas com os envolvidos das áreas em estudo, examinar possível melhoria no projeto atual e a implementação de alterações na ferramenta de forjamento. Outra questão que se pretendeu com o conteúdo coletado, foi explanar que com a nova modificação na geometria da matriz haverá possibilidade de manutenções futuras nas matrizes, após serem utilizadas no processo de forjamento.

## MATERIAL & MÉTODOS

Primeiramente, foi necessário selecionar as etapas da pesquisa e características do processo, bem como demonstrar o fluxo de processo da produção de

forjados. Na empresa pesquisada, a observação de campo foi abundante para habituar-se ao processo e identificar as falhas que são predominantes na ferramenta de forjamento.

A cada três golpes da prensa é produzida uma nova peça forjada, sendo a contagem de golpes muito favorável para a análise da vida útil da ferramenta, foi fundamental se acerrar do sistema de aquecimento dos tarugos e contador de golpes da prensa.

No setor de ferramentas, as matrizes são montadas dentro dos porta-ferramentas, os quais são fixados na mesa da prensa. Após a montagem das ferramentas na prensa é inserido o aquecedor e posicionado nas ferramentas. Dessa forma, foi possível selecionar a ferramenta de estudo, bem como verificar qual o material da matriz, avaliar o procedimento de montagem das ferramentas e o aquecimento do conjunto da ferramenta.

A abertura do Brainstorming teve um esclarecimento ao grupo quanto ao problema a ser analisado. Todos os dados disponíveis sobre a matriz de estudo foram apresentados aos colaboradores. Assim, a abordagem inicial foi mais simplificada. O detalhamento do problema foi fundamental para a análise da causa raiz. Com a metodologia definida pela Matriz GUT, as causas foram classificadas permitindo uma priorização de resolução de problemas de forma assertiva. É importante mencionar que a prioridade foi feita baseada também no número de ocorrência e frequência de cada possível causa. O método dos “Cinco Porquês” foi empregado nesse momento para descobrir a causa raiz da principal causa.

Foram coletadas as planilhas de controle da Ferramentaria que fizeram parte do estudo contribuindo com os dados de falhas das matrizes e os motivos de descarte da ferramenta. Esses dados foram imprescindíveis para o entendimento do número de matrizes que estavam sendo descartadas e suas principais causas.

A avaliação da produção da matriz inferior foi importante nesse momento. Dessa maneira, foram extraídos os dados da quantidade de peças que foram forjadas e entregues para inspeção final num determinado período. Após isso, foi realizada análise da produção da ferramenta protótipo que já

possuía melhorias no projeto e exibia consequências satisfatórias de produtividade.

As matrizes que têm faces paralelas na caixa de extrusão foram comparadas com as matrizes que possuem ângulo de saída na borda da ferramenta. Além disso, a engenharia de produto deve ser envolvida nessa etapa para avaliar tal geometria e seus benefícios para com o produto que será forjado. É importante salientar que o valor padrão de durabilidade da ferramenta varia de projeto para projeto. Dessa forma, foi importante estabelecer a vida útil da ferramenta, além de abranger os valores estipulados de vida da matriz pela Ferramentaria para avaliar se tal durabilidade é coincidente.

## RESULTADOS & DISCUSSÃO

### Descrição do Processo

Primeiramente, a observação foi feita em dois setores, sendo Forjaria e Ferramentaria. Na empresa pesquisada, a observação de campo foi abundante para habituar-se ao processo e identificar as falhas que são predominantes na ferramenta de forjamento. No início do forjamento, o forno recebe o tarugo já cortado e com o peso necessário para forjar o produto.

Esse material já cortado previamente no setor de corte de matéria-prima é aquecido a uma temperatura de  $1.225^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ . O material aquecido é conduzido rapidamente por bicas e periféricos para não perder a temperatura. Desse modo, o tarugo é colocado na matriz que está em trabalho numa Prensa Mecânica Excêntrica de 1.300 toneladas forjando sem rebarbas. Depois de forjados os golpes necessários, o operador coloca a peça na caçamba com a utilização de equipamento adequado.

### Sistema de Contagem de Golpes

O contador de golpes geralmente fica próximo ao forjamento. O contador possui duas marcações: a primeira faz a marcação de golpe total da prensa, já a segunda marcação sinaliza a quantidade de peças. Na maioria das

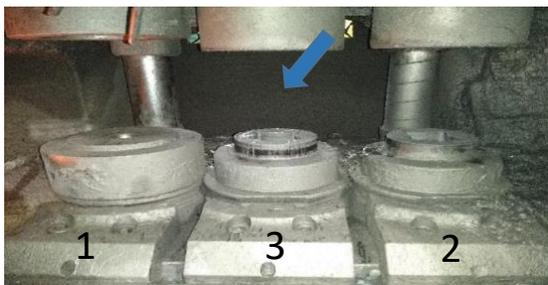
vezes, existem três operações, até a forma final da peça, conforme FIG. 1.

Após o aquecimento do tarugo no forno, o primeiro golpe da prensa, trata-se do recalque do tarugo inicial, que retira a carepa, que o material oxidado forma em volta do tarugo.

O tarugo é recalcado até um diâmetro próximo do maior diâmetro do produto forjado final. No segundo golpe, o tarugo é colocado dentro da matriz de pré-forma para ser forjado.

No terceiro golpe, a peça é pré-formada e colocada na última operação, para assim deformar a geometria final da peça.

FIGURA 1 - Operação de forjamento a quente:



Fonte: Dados da Pesquisa.

Na mesma FIG. 1, a seta indica a ferramenta pesquisada. Trata-se da matriz inferior final. É de extrema importância a montagem do conjunto de ferramenta de maneira eficaz, pois qualquer equívoco acarreta em perda da vida da matriz, tanto da perda da matriz inferior como também da matriz superior. As montagens das ferramentas são feitas no pré-set, local onde é destinado para preparação das ferramentas antes destas seguirem para o aquecimento na prensa.

### Montagem da Ferramenta

Na Ferramentaria, as matrizes são montadas dentro dos portas-ferramenta e parafusadas na mesa da prensa. Após a montagem das ferramentas na prensa, é inserido o aquecedor. Neste momento, o forno de indução é ligado para o aquecimento do tarugo até que a temperatura atinja o valor que consta no plano

de controle. Logo após o aquecimento dos tarugos, é realizada a conferência da temperatura com o pirômetro manual e a liberação para o processo de forja. O conjunto de ferramentas é aquecido com temperatura de 150 a 200°C antes de se iniciar o forjamento. Observa-se que a variação de temperatura das ferramentas faz parte do processo se a prensa é destinada a outro forjado. Dessa forma, o conjunto de ferramentas perde temperatura, tendo ele que ser muito resistente a choques térmicos e a fadigas térmicas.

### Material da Matriz

A matriz em estudo é confeccionada com aço (DIN 1.2344). Esse material possui elevada resistência a rachaduras por fadiga térmica, excelentes propriedades mecânicas, boa tenacidade, usinabilidade e polibilidade, boa permanência dimensional durante o tratamento térmico, boa resistência ao desgaste, pouco sensível a choques térmicos quando resfriado por água. Para forjar o produto específico, a matriz deve passar por tratamento térmico, quando é temperado e revenido e, em seguida, nitretado e polido na Ferramentaria.

### Regravações

Uma opção de redução ao descarte de ferramentas de forjamento é a utilização de manutenção das matrizes, também conhecido por regravações. De maneira geral, a manutenção das matrizes é feita quando as mesmas não atendem aos critérios e especificações ligadas a peça forjada. Quando as matrizes são retiradas dos equipamentos, logo é passada pela inspeção visual da Ferramentaria, para decidir se é possível sua reutilização. Caso não seja, a ferramenta é descartada. Daí, sendo liberada para manutenção, a ferramenta passa por operação no torno e fresa e, se necessário, polimento manual. Isso ocorre porque as ferramentas para esse processo não utilizam inserto, ou seja, são blocos maciços. Geralmente, acontecem no máximo 4 manutenções na matriz inferior para recuperação do acabamento superficial. A manutenção das ferramentas ajuda a vida útil da matriz, mas por outro lado, após as

regravações contínuas das matrizes, as ferramentas passam a adquirir uma espessura reduzida, sendo necessário o uso de calços para montagem do jogo de ferramentas. A cada regravação, o calço compensa a altura da matriz que é usinada, pois deve permanecer a mesma para preencher o ferramental. Neste cenário, a desvantagem ocorre por ser mais um item para acompanhamento durante a pré-montagem do ferramental, o que demanda um maior período de montagem e gerenciamento do conjunto ferramenta.

### Formulação e Diagnóstico do Problema

A seguir é exposta a análise da vida útil da ferramenta de forjamento em relação às variáveis diagnosticadas. Para isso primeiramente, foi necessária uma reunião com a equipe dos setores. O problema em análise mostrou vários fatores que influenciam na vida útil da ferramenta. Contribuiu para essa etapa o Diagrama de Ishikawa que esboçamos para os

participantes da reunião. É importante mencionar que no *Brainstorming* estiveram presentes sete pessoas que compartilharam ideias e opinaram, da qual foram listadas 17 possíveis causas para a pouca durabilidade da matriz inferior.

### Estratificação do Problema

Com a metodologia definida pela Matriz GUT, as causas foram classificadas permitindo uma priorização de resolução de problemas de forma assertiva.

É possível observar através da TAB. 2 que a causa “Matriz com pouco uso sendo descartada” obteve a maior nota, atingindo 75 pontos.

É importante mencionar que a prioridade foi feita baseada também com o número de ocorrência e frequência de cada possível causa.

TABELA 2 - Matriz GUT

Nº	Possíveis causas	Gravidade	Urgência	Tendência	GxUxT
1	Matriz com pouco uso sendo descartada	5	5	3	75
2	Tipo de material utilizado nas matrizes ruim	4	4	4	64
3	Matriz regravada não passa por alívio de tensão	3	3	3	27

Fonte: Autor, 2019

### Causa Raiz do Problema

O método dos “Cinco Porquês” (FIG. 2) foi empregado neste momento para

descobrir a causa raiz da principal causa. Foram feitas as interrogações para os Técnicos, Projetista de ferramentas e Engenheiro de Produto.

FIGURA 2 - Cinco Porquês

BUSCANDO A CAUSA RAIZ DO PROBLEMA	RESPOSTA
<b>PERGUNTA 1)</b> Por que a vida útil da matriz inferior x está com pouca durabilidade?	<b>RESPOSTA 1)</b> Porque a matriz com pouco uso está sendo descartada.
<b>PERGUNTA 2)</b> Por que a matriz com pouco uso está sendo descartada?	<b>RESPOSTA 2)</b> Porque a matriz não atende aos critérios para ter manutenções.
<b>PERGUNTA 3)</b> Porque a matriz não atende aos critérios para ter manutenções?	<b>RESPOSTA 3)</b> Porque na manutenção, a matriz não apresenta material suficiente para retirar toda deformação.
<b>PERGUNTA 4)</b> Por que na manutenção, a matriz não apresenta material suficiente para retirar toda deformação?	<b>RESPOSTA 4)</b> Porque a ferramenta é paralela e não possui ângulo de saída na borda da matriz.
<b>PERGUNTA 5)</b> Por que a ferramenta é paralela e não possui ângulo de saída na borda da matriz?	<b>RESPOSTA 5)</b> Porque o desenho da matriz não contempla esse item.

Fonte: Dados da Pesquisa.

A partir da análise do problema e encontrada a real causa raiz, foi montado um plano de ação, conforme exposto na

FIG. 3, apresentando a atividade necessária para aperfeiçoar a durabilidade da matriz inferior X com o uso da ferramenta 5W1H.

FIGURA 3 - Plano de ação 5W1H

Plano ação	
O que fazer? <b>WHAT</b>	Modificar desenho da matriz inferior.
Quem fará? <b>WHO</b>	Engenharia de produto e processo.
Onde fará? <b>WHERE</b>	Empresa pesquisada.
Quando fará? <b>WHEN</b>	Imediato.
Por que? <b>WHY</b>	Com a nova geometria a ferramenta passará atender aos critérios para ocorrer manutenções consequentemente aumentando a durabilidade da matriz.
Como fará? <b>HOW</b>	Inserir o ângulo de saída de 1° na borda da matriz.

Fonte: Dados da Pesquisa.

### Análise dos Dados Obtidos da Gestão de Ferramentas

No período de 01/01/2019 até dia 29/04/2019 foram produzidas 34 ferramentas. A Ferramentaria usa a média como padrão, nesse caso, se o conjunto de ferramenta é composto por matriz inferior e matriz superior, o valor da durabilidade deste conjunto será a média dessas duas ferramentas em relação à produção mensal de forjados. A base da planilha de acompanhamento de vida de matriz é o preenchimento do documento de produção. Nesse documento abastecido pela Produção contempla a informação das matrizes que são retiradas de produção. O motivo e a justificativa podem ser classificados em deformação, trinca, quebra, ou retirada para setup. Esse preenchimento é feito pelos Operadores e Preparadores de Produção manualmente. Nos dados apresentados pela ferramentaria, comprovou-se que a deformação é o grande motivo de falhas das matrizes, o que reforça ainda mais a causa raiz em análise.

### A Produção da Matriz Final Inferior versus Produção da Matriz Protótipo

Através da quantidade de peças forjadas extraídas do Data Sul, observou-se a produção de janeiro de 2018 até dia

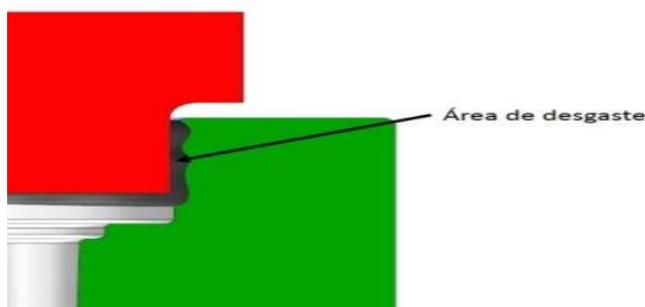
29/04/2019. Em média, são forjadas 16.500 peças do produto X.

Em diálogo com os envolvidos, foi abordado que a inserção de ângulo de saída na borda da matriz já havia apresentado resultados satisfatórios em outra ferramenta, obtendo reflexos na quantidade de peças forjadas. Dessa forma, foi levantada, a quantidade de peças forjadas do produto Y para comparação. A alteração no projeto aconteceu em novembro de 2017 e demonstra uma quantidade de peças forjadas no período setembro de 2017 até agosto de 2018. Em média, são forjadas 22.400 peças por mês.

### Matrizes com Paredes Paralelas

Ressalta-se na FIG. 4 que as matrizes têm faces de contato paralelas na caixa de extrusão, indicada com uma seta no desenho apresentado. Este paralelismo das matrizes colabora com a deformação na área de saída da matriz inferior, resultando na redução da vida útil da ferramenta. Na mesma figura, pode visualizar área comum de desgaste da matriz inferior X. Por esse motivo, a matriz sofre regravação, para retirar toda a deformação da superfície. Notou-se no processo de reutilização que só na terceira manutenção é possível retirar toda a deformação por igual na área da peça forjada.

FIGURA 4 - Desgaste na matriz inferior



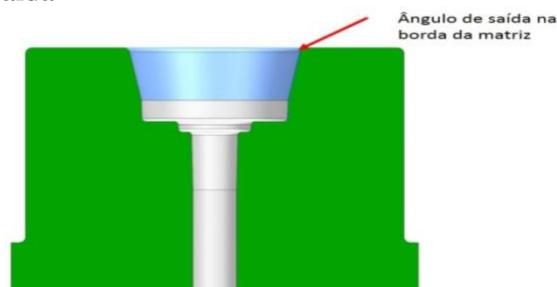
Fonte: Dados da Pesquisa.

É importante ressaltar que a matriz desgastada é usinada para que seja retirada toda a deformação da área que tem a gravura, que é a região onde a peça é formada. Se a deformação tiver uma curvatura maior, não seria possível a manutenção e reutilização desta ferramenta. Neste caso, a matriz é descartada por não conter material suficiente para ser usinado. Este é o grande problema com a matriz inferior que após uso no forjamento, transforma-se numa ferramenta descartável e de pouco uso, impossibilitada de não ser reutilizada no processo. No forjamento utilizando matrizes paralelas, o desgaste excessivo produz folga exorbitante entre as ferramentas, contribuindo para que o material ascenda e componha as rebarbas nas peças e formando não conformidades no produto forjado.

### Matriz Protótipo com Ângulo de Saída

A FIG. 5 demonstra a matriz com ângulo de saída inserido. A alteração no projeto da matriz protótipo tinha como objetivo inicial reduzir os desgastes e quebras prematuras da ferramenta que era frequente no forjamento. A modificação da geometria da matriz veio para contribuir também na vida útil das ferramentas. Com isso, o ferramental teve maior absorção das folgas dinâmicas do equipamento e as matrizes obtiveram guiamento e estabilidade no processo com a inserção do ângulo de saída. Além disso, as deformações comuns inerentes ao processo de forjamento tiveram redução considerável, já que as peças ao sair não estariam fazendo pressão na borda da ferramenta.

FIGURA 5 - Matriz inferior com ângulo de saída



Fonte: Dados da Pesquisa.

Outro fator importante dessa melhoria que chama atenção, são as manutenções da matriz após forjamento. Observou-se que, para fazer as manutenções tornaram-se aceitáveis, já que a matriz apresentava material suficiente para usinar e refazer todo acabamento superficial desgastado no decorrer do processo. Na evolução da regravação na matriz inferior, após um desgaste no processo, houve melhoria considerável no procedimento de manutenção com a matriz modificada, bem como o prolongamento da utilização da matriz no forjamento. Notou-se no processo de regravação que na segunda manutenção já seria possível retirar toda a deformação da área que a peça será forjada. A redução de material retirado da ferramenta mostra que é possível realizar novas regravações, aumentando sua durabilidade.

### Considerações dos Setores Sobre Tempo de Vida da Matriz

O setor de Ferramentaria baseia-se no visual da ferramenta para realizar as manutenções. A vida da ferramenta é toda atrelada aos defeitos dos forjados ou à quebra e trinca da ferramenta. O setor conta com o preenchimento correto da Forjaria para entender o comportamento médio das ferramentas. Não tendo um tempo pré-definido de cada ferramenta, o planejamento de construção e manutenção é realizado de acordo com a demanda de produção da Forjaria. Já o setor da Engenharia define o tempo de uso da ferramenta baseando em projetos similares. Para a matriz inferior X, sendo ela nova, são esperadas de 3.000 a 5.000 peças forjadas. Após a manutenção, pelo aquecimento do material, o comportamento da matriz é

diferente. Neste caso a vida útil da ferramenta não é definida.

## CONCLUSÕES

Para a Ferramentaria, a melhoria na geometria da borda da matriz será de grande significância, pois o aumento da vida útil da ferramenta será maximizado, o que se deve à possibilidade de manutenções na ferramenta, porque assim é possível evitar o descarte prematuro da matriz.

Assim sendo, foi sugerido para a empresa inserir ângulo, na borda da matriz inferior X no valor de 1°. Tendo a matriz protótipo como embasamento, o ângulo de saída torna-se realmente eficaz. Diante dessa modificação na geometria da matriz, projeta-se um aumento de 36% na produção de forjados, sendo um aumento satisfatório na vida útil da matriz.

As recomendações deste estudo trarão benefícios na qualidade da peça forjada, além disso, a programação de confecções de ferramentas será previsível e a durabilidade das ferramentas será maximizada. Os proveitos deste estudo alcançarão todos os setores envolvidos na pesquisa. Contudo, é necessário que na gestão de ferramentas, para as futuras análises das matrizes seja realizada uma reunião diária para tratar as principais falhas das matrizes após o forjamento com representantes da Engenharia, Ferramentaria, Qualidade e Produção com o objetivo de aperfeiçoar o uso das ferramentas de peças forjadas.

## REFERÊNCIAS

ALTAN, T., Oh S., GEGEL H., **Conformação de Metais, Fundamentos e Aplicações**. EESC/USP. Projeto REENGE. 1999.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. 2. ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill. 1986. 310p.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia mecânica**. 2. ed. Vol. 3. São Paulo: Editora McGraw-Hill. 1914. 361p.

DIETER GEORGE. **Metalurgia Mecânica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara II. 1981. 660p. GRUNING, Klaus, **Tecnologia da conformação**. São Paulo: Editora Polígono. 1973. 251p.

KIM, D. H.; LEE, H. C.; KIM, B.M.; KIM, K.H. **Estimation of Die Service Life Against Plastic Deformation and Wear During Hot Forging Processes**. Journal of Materials Processing Technology. V.166. 2004. p. 372-380.

LANGE, Kurt, **Handbook of metal forming, Society of Manufactores Engineers (SME)**. Dearborn. capther 11.

MAGALHÃES, F. C; PERTENCE, A. E. M; CAMPOS, H. B; AGUILAR, M. T. P; CETLIN, P. R. **Simulação numérica do desgaste de uma matriz de forjamento a quente**. Porto Alegre: XXIX Senafor. 2009.

SCHAEFFER, LÍRIO. **Introdução ao projeto de ferramenta para forjamento a quente em matriz fechada**. Curitiba: Revista Ferramental. V. 9. p. 19-28. 2006 b.