



Diretrizes para projeto de ferramenta de estampagem Parte I

A estampagem é um processo que permite fabricar produtos economicamente viáveis por sua eficiência e precisão. Todavia, é necessário aplicar procedimentos criteriosos de projeto a fim de obter o máximo de rendimento destas ferramentas.

Todos os segmentos da indústria buscam a produção de produtos de qualidade a baixo custo. Esta meta normalmente é atingida com a produção em série, usando máquinas e ferramentas especiais, capazes de produzir um elevado número de peças mantendo o padrão desejado.

Um processo importante na produção seriada é a estampagem de chapas. As máquinas usadas na estampagem são as prensas dos mais variados tipos e tamanhos e as ferramentas ou estampos, que dependendo da quantidade e da qualidade das peças a produzir, variam das mais simples e rudimentares às mais complexas e aperfeiçoadas.

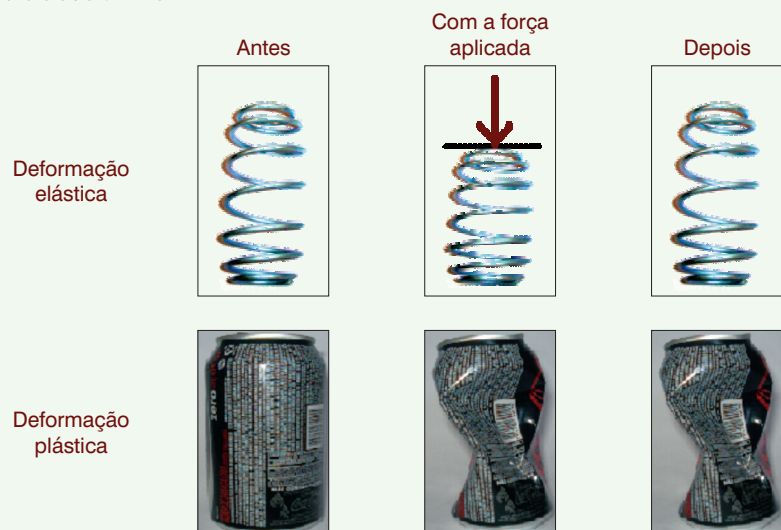
O projeto de ferramental destinado ao processo de produção por estampagem engloba uma série de parâmetros que devem ser seguidos para a obtenção precisa do produto final e maior vida útil da ferramenta. Objetivando reproduzir um procedimento criterioso de projeto para matrizes deste tipo de aplicação, os parâmetros citados são

abordados neste trabalho de forma a orientar o projetista sobre a correta maneira de elaboração de uma ferramenta de corte e repuxo. A importância de tal procedimento poderá ser visualizada através do caso de uma ferramenta mal projetada e com registro de falha. A matriz era

utilizada na indústria de rolamentos, produzindo uma peça de fixação de um tensor que se tornara fragilizada devido à ruptura originada na matriz. Um novo projeto é apresentado eliminando as falhas do anterior e, conseqüentemente, capacitando a utilização da peça.

INFOGRÁFICO – Deformação Plástica e Elástica

Dizemos que uma deformação é elástica quando desaparece com a retirada das forças que a originaram e a peça retorna a sua forma inicial. O conceito é similar ao funcionamento de uma mola. Por outro lado, quando uma peça sofre uma força e sua forma é alterada, dizemos que ela sofreu uma deformação plástica. O conceito é similar ao amassamento de uma lata de alumínio.



A ESTAMPAGEM

A estampagem é um processo de conformação mecânica, realizado geralmente a frio, que compreende um conjunto de operações de corte, dobra e embutimento por intermédio das quais uma chapa plana é submetida a transformações de modo a adquirir uma nova forma geométrica própria e determinada por projeto.

A deformação plástica (*veja o infográfico*) é levada a efeito com o emprego de prensas específicas e dispositivos especiais denominados estampos ou matrizes. Em situações nas quais a demanda de produção é pequena, o processo de estampagem não é recomendado, pelo elevado custo das ferramentas. Quando se trata de grandes séries, constitui o processo mais econômico, pois o custo das ferramentas é distribuído entre a grande quantidade de unidades produzidas.

OPERAÇÕES DE ESTAMPAGEM

Basicamente, a estampagem compreende as seguintes operações:

Corte de chapas: chapas planas são submetidas à ação de um punção de corte, aplicada por intermédio de uma prensa que exerce pressão sobre a chapa apoiada em uma matriz. No instante em que o punção penetra na matriz, o esforço de compressão converte-se em esforço de cisalhamento e ocorre o desprendimento brusco de um pedaço de chapa.

Dobramento: faz com que uma chapa forme dois ou mais planos separados por um ângulo. Neste processo, parâmetros como raio de curvatura e elasticidade do material são importantes. No caso de mate-

riais com alto módulo de elasticidade¹ é comum que depois de realizado o esforço de dobramento, a chapa tenha um maior retorno elástico, voltando a sua forma primitiva. Desta forma, é recomendável construir a matriz com ângulos de dobramento mais acentuados, além de realizar-se a operação em várias etapas, com uma única ou com várias matrizes.

Embutimento ou repuxo: é o processo em que as chapas metálicas e planas pré-cortadas são conformadas em forma tridimensional, ou seja, um objeto oco, tendo como aplicações mais comuns a produção de pára-lamas de automóveis, estojos, cápsulas, capas de rolagens, etc. Se a complexidade geométrica da peça produzir tensões superiores à de ruptura do material, costuma-se fazer o embutimento em duas ou mais operações sucessivas. Em geral, em certas direções a chapa é estirada², em outras é comprimida e, em resumo, a espessura da mesma não sofre uma variação significativa.

CLASSIFICAÇÃO DAS FERRAMENTAS

As ferramentas para as prensas podem dividir-se em alguns grupos, considerando primeiramente, seu efeito sobre a estrutura metálica a qual são aplicadas.

Ferramentas de corte

No corte por puncionamento, primeiramente o material é comprimido, deformando suas fibras. Quando a pressão exercida é maior que a resistência do material ao cisalhamento, este se rompe e, ao término do corte, as fibras deformadas tendem por elasticidade retornar a sua posição primitiva.

Deste modo, há a necessidade que o punção apresente precisamente a dimensão final do furo e a geometria externa da peça esteja contida na matriz, ainda que não possuam exatamente a mesma medida por existir folga entre os mesmos.

Além do punção (A) e da matriz (B), uma ferramenta de corte completa possui um bloco (C) que atua como guia do(s) punção(ões). Deve existir ainda um mecanismo, que podem ser duas chapas fixadas à matriz (D), com o objetivo de guiar a chapa que será cortada continuamente, tal como, um sistema “batente” com a função de fixar o passo que é adotado para o avanço da chapa. O esquema de uma matriz de corte pode ser visto na Figura 1.

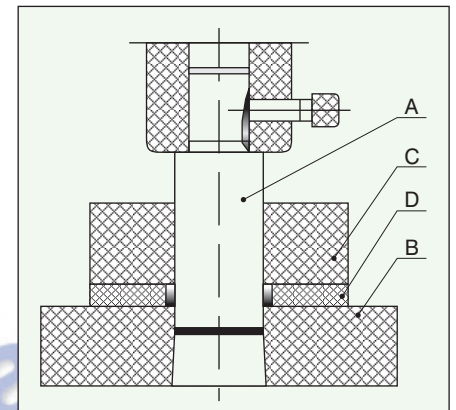


Figura 1 - Esquema de um estampo de corte [1]

Ferramentas de dobra

O dobramento de chapas é realizado mediante ferramentas especiais chamadas *estampos de dobra*. Estes são compostos de dois elementos essenciais: o punção superior (C) e a matriz (D) denominados

¹Módulo de elasticidade: é uma grandeza que proporciona a medida da rigidez de um material sólido. A unidade de medida no Sistema Internacional (SI) é o Pascal (Pa).

²Estiramento: consiste em afinar a espessura de uma chapa por meio de um punção, prendendo-se a chapa em uma matriz, de modo a impedir que o material deslize para dentro da matriz.

macho e fêmea respectivamente. No caso da Figura 2, completam o estampo os componentes de fixação da chapa presos à matriz por parafusos e necessários para posicionar a chapa previamente cortada, o elemento extrator (A) responsável pela retirada da peça e a mola (B) acoplada ao mesmo para exercer a pressão de extração. O uso de componentes fixadores não só é necessário para evitar o deslizamento da peça, mas também para que não sejam produzidas peças deformadas incorretamente. A peça "a" é o produto resultante da ferramenta mostrada.

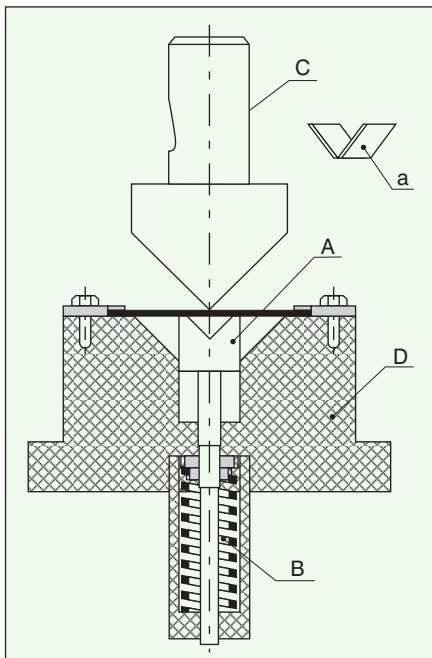


Figura 2 - Esquema de um estampo de dobra [1]

Ferramentas para embutimento

A Figura 3 mostra uma matriz para esta aplicação. O disco a ser embutido é introduzido sobre a matriz. O punção é fixado no porta-punção e o conjunto é fixado no cabeçote superior da prensa.

Durante a deformação, o sujeitador mantém a superfície da chapa tensa para impedir a formação de rugas. O punção, ao penetrar na

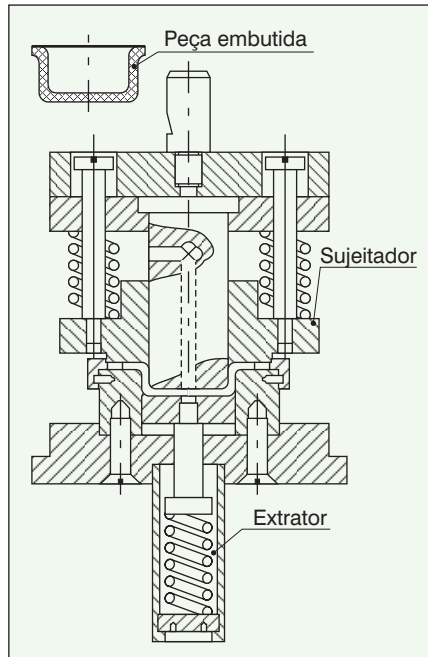


Figura 3 - Matriz de embutimento ou repuxo [2]

matriz, conforma o objeto. Durante a penetração, a mola é comprimida e, ao terminar a operação, o punção retrocede e o extrator sob a ação da mola sobe e extrai o objeto conformado.

A matriz vai fixada na base que, por sua vez, é presa na mesa da prensa.

ESFORÇOS NA ESTAMPAGEM

O cálculo dos esforços envolvidos nos processos de estampagem é fundamental para o desenvolvimento de ferramentas. Partindo desta informação, é possível selecionar os materiais a serem utilizados no estampo, bem como a capacidade necessária da prensa utilizada no processo.

Esforço necessário para corte

O punção, no momento do contato com a chapa, inicia sobre a mesma uma carga compressiva seguida de corte.

Ocorre uma pressão contínua por parte do punção e reação do material pressionado. Devido à a-

ção do fio cortante do punção, a área de chapa atingida se separa do restante. Neste processo pode-se verificar a superação do esforço superior sobre a resistência ao cisalhamento do material [1].

O esforço necessário para efetuar um corte depende do material que será cortado, das dimensões do corte e da espessura da chapa. Desta forma, esta grandeza é dada por:

$$Q = p \cdot e \cdot \tau_c \quad (1)$$

onde Q é a força necessária para corte, em Newton (N), p é o perímetro de corte, e é a espessura da chapa, ambos em milímetros (mm) e τ_c é a tensão de cisalhamento, em N/mm^2 .

Se existem vários punções envolvidos no processo, a força total é a soma das forças exercidas por cada um deles. Para o cálculo pode-se utilizar a equação (1), porém substituindo em p a soma dos perímetros de corte de todos os punções.

Esforço necessário para dobra

Os esforços necessários para dobrar e curvar chapas medianas ou finas, normalmente são pequenos se comparados aos necessários para corte das mesmas.

Para o cálculo do esforço de dobra é necessário basear-se no momento fletor produzido segundo as forças externas atuantes em cada caso. Partindo da equação (2), pode-se obter esta grandeza.

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I} \quad (2)$$

onde σ é a tensão exercida sobre a chapa para o dobramento, em

N/mm^2 , M é o momento fletor em $N.mm$, y é a distância máxima das fibras ao eixo neutro, em mm e I é o momento de inércia da secção, em mm^4 .

Admite-se em alguns casos que a chapa se comporte como um sólido apoiado nas extremidades e carregado no centro. Após o desenvolvimento de equações partindo do momento fletor das forças externas atuantes [3], pode-se calcular o esforço de dobra pela equação (3):

$$F = \frac{4.\sigma_T.b.e^2}{3.l} \quad (3)$$

onde F é o esforço necessário para dobra, em N , σ_T é o limite de resistência à tração, em N/mm^2 , b é a largura da chapa e l é a distância entre os apoios, ambos em mm .

Esforço necessário para embutimento

Um corpo metálico que sofre a ação de esforços crescentes se deforma elasticamente e depois plasticamente ou permanentemente. Para haver o embutimento é preciso que σ_T supere a tensão de escoamento σ_e mas não a tensão de ruptura σ_r do material da chapa, pois nesta situação, a chapa acaba rasgando.

A força de embutimento é máxima no início da operação, diminui gradualmente ao longo do percurso e se anula no final. As equações (4) e (5) fornecem o esforço de repuxo.

$$F = \pi.d.e.\sigma_e.\ln \frac{D}{d} \quad (4)$$

para repuxo cilíndrico e

$$F = p.e.\sigma_e.\ln \frac{D}{d} \quad (5)$$

para repuxo prismático, sendo F a força necessária para embutimento, em N , d o diâmetro do punção, D o diâmetro do disco, ambos em mm .

PRENSAS DE ESTAMPAGEM

As prensas utilizadas na estampagem podem ser mecânicas, onde um volante é fonte de energia, a qual é aplicada por manivelas, engrenagens, excêntricos, durante a aplicação do esforço de deformação, ou hidráulica, em que a pressão hidrostática aplicada contra um ou mais pistões fornece a energia para o esforço de deformação.

As prensas excêntricas são as de uso mais geral, utilizando-se para quase todos os trabalhos de estamparia. Contudo, por não serem de fácil regulagem e exatidão de percurso, apresentam dificuldades nos trabalhos de embutimento (sem saída livre do punção), pois um des-

cuido nesta regulagem pode ter como conseqüência a ruptura das ferramentas e até da prensa.

A prensa excêntrica para uma determinada operação de corte ou repuxo não pode ser escolhida pela capacidade nominal fornecida pelos fabricantes, pois esta é a capacidade máxima que a prensa desenvolve quase no final do curso [4, 5, 6].

Para a escolha da prensa é preciso estabelecer o curso que será necessário, em função do tipo de fabricação – corte, dobra, embutimento ou mista – a força no início da operação e a produção diária a ser desenvolvida. Estabelecida a máquina, se deve verificar todas as características necessárias como avanço máximo e mínimo, dimensões da mesa, regulagem do punção.

A capacidade da prensa não deve ser justamente igual aos esforços relacionados na seção anterior, sendo recomendado deixar uma margem levando em conta os atritos e demais resistências passivas. No

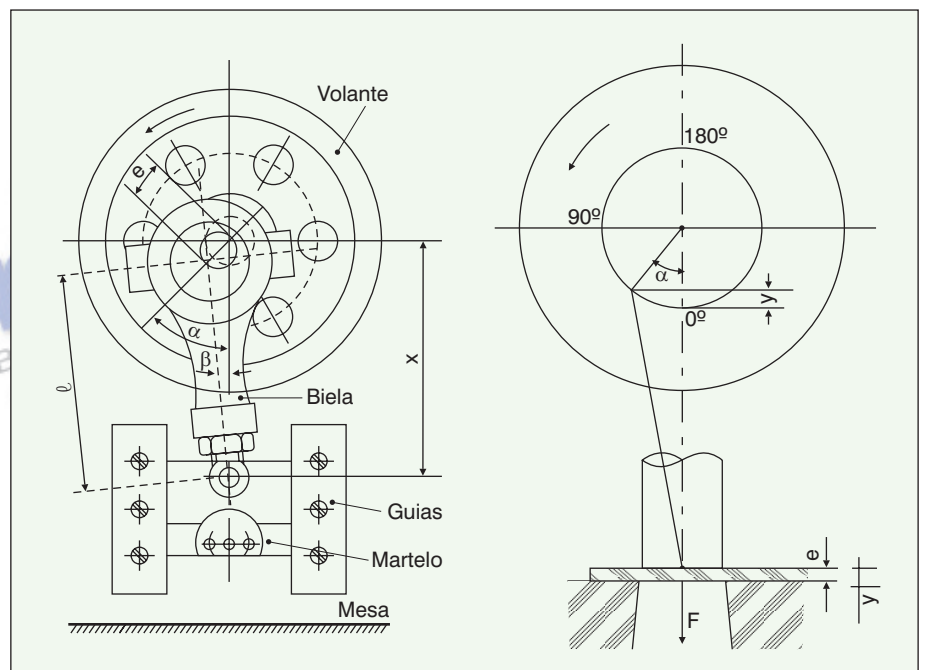


Figura 4 - Mecanismo de acionamento de uma prensa excêntrica [4]

caso do estampo possuir molas extratoras ou dispositivos semelhantes é necessário considerar a força dos mesmos e somá-las ao esforço total que a prensa deve exercer.

A Figura 4 mostra o mecanismo de acionamento de uma prensa excêntrica. A força útil da prensa varia com a posição da manivela, ou seja, depende do ângulo α . Quando $\alpha = 90^\circ$ a prensa desenvolve a força mínima.

ESTUDO DE CASO

O projeto consistiu na modificação de uma matriz de estampagem progressiva utilizada na indústria de rolamentos que estava apresentando problemas para a produção de determinada peça. A peça produzida faz parte do rolamento codificado pela empresa que o fabrica como RL 27074, e este é um tensor da correia dentada dos automóveis Kadett, Ipanema e Vectra. A peça pode ser vista na Figura 5 após a sucessiva operação de dobra.

O fato era que a matriz, onde houve trincamento, estava produ-

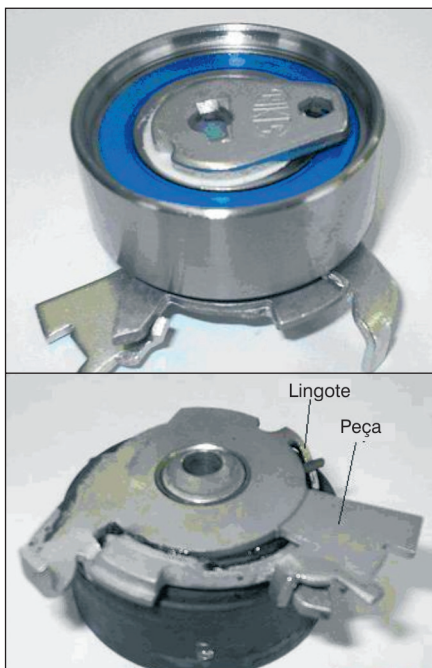


Figura 5 Peça RL 27074

zindo uma peça fragilizada devido ao aumento da largura do bloco e, conseqüentemente, aumento das geometrias de corte. Ao entrar em funcionamento, a peça sofria ruptura e, conseqüentemente, provocava a inutilização do rolamento. O problema mais freqüente estava relacionado ao lingote indicado acima, que era estampado com uma espessura muito fina. Quando o rolamento era submetido ao torque, o lingote acabava rompendo. Este fato estava gerando inúmeros casos de reembolso aos clientes, então, foi preciso retirar o estampo de operação. A ferramenta é mostrada na Figura 6.

Foram verificados os seguintes erros de projeto:

- Os passos entre os estágios de produção das peças são diferentes. Isto pode provocar uma distribuição de tensões não-uniforme ao longo da matriz;
- Existência de cantos vivos em algumas geometrias de corte da matriz. Estes são pontos projetados com raios relativamente pequenos, aumentando a concentração de tensão na região dos mesmos. Provavelmente este foi um dos fatores que contribuíram para o trincamento da matriz visto na figura anterior;
- A matriz foi submetida a tratamento térmico e, após um ensaio de dureza, foi constatado que sua dureza ficou entre 64 e 70 HRC. Esta dureza foi considerada excessiva diante das circunstâncias a que a matriz é submetida – carga de 85 toneladas exercida pela prensa utilizada – e este seria um agravante para o defeito surgido;
- A base que suporta a matriz, porém, não foi submetida a um tratamento térmico, segundo análise realizada, e desta forma sua du-

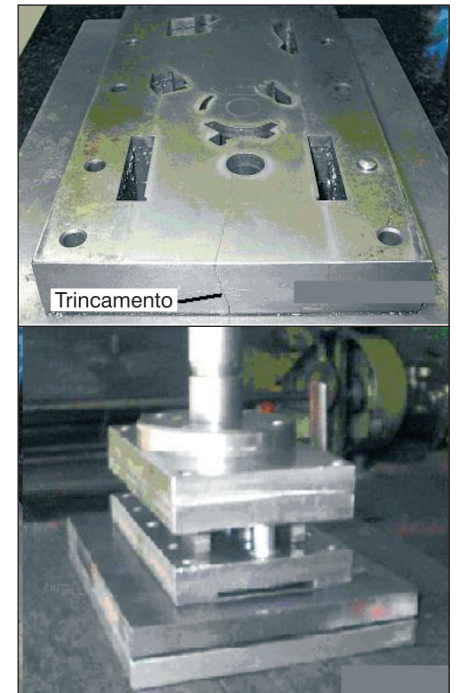


Figura 6 - Matriz RL 27074 (cinco estágios de produção)

reza é inferior a dos outros elementos. Com o passar do tempo e as inúmeras vezes em que a matriz operou, a base deformou, criando um empenamento, o que submeteria a matriz ao esforço de flexão.

Na próxima edição, o tema continuará sendo abordado através do estabelecimento de uma seqüência de etapas para o desenvolvimento de uma ferramenta de estampagem, demonstrando a importância do estudo prévio e as dificuldades encontradas para tal procedimento.

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

- ÁLVAREZ-SOLER; Estampos. São Paulo: Mestre Jou, 1972
- BENDIX, Friedrich; Princípio a Trabalhar o Metal, Rio de Janeiro: Reverte, 1967
- STANLEY, Frank A.; Estampado y Matrizado de Metales: Proyecto, Construcción y Empleo de Puntos y Matrices, Barcelona, José Montesó, 1957

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [2] POLACK, Antônio V.; Manual Prático de Estampagem, São Paulo: Hemus, 1974.
- [1] ROSSI, M.; Estampado en Frio de La Chapa: Estampas, Matrices, Punzones, Prensa y Máquinas, São Paulo, Dossat, 1979.
- [3] CHIAVERINI, Vicente; Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento, 2 ed., São Paulo: McGraw-Hill, 1986
- [4] PROVENZA, F.; Estampos, Vol. I, São Paulo, PRO-TEC, 1982.
- [5] PROVENZA, F.; Estampos, Vol. II, São Paulo, PRO-TEC, 1982.
- [6] PROVENZA, F.; Estampos, Vol. III, São Paulo, PRO-TEC, 1982.

Fabício Dreher Silveira – Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pós-graduando pela UFRGS na área de Conformação Mecânica. Profissional com experiência em projeto e desenvolvimento de ferramental de diferentes processos de fabricação. Atuação como encarregado de estamparia e ferramentaria e Engenheiro de projetos e desenvolvimento de produto na Unidade de Metalurgia do Pó da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA).

Lírio Schaeffer - Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor na área de Conformação pela Universidade Técnica de Aachen/Alemanha (RWTH). Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) do Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS. Pesquisador na área de Mecânica, Metalurgia e Materiais do CNPq, professor das disciplinas de processos de fabricação por conformação mecânica e vinculado ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Energia da UFRGS. Autor de vários livros sobre conformação mecânica.