

# UMA METODOLOGIA PARA O PROJETO DE PEÇAS ESTAMPADAS COM USO DE SIMULAÇÃO<sup>1</sup>

*Magnus Varassin Arantes<sup>2</sup>  
Ivo De Castro Junior<sup>3</sup>  
Alessandri Leis<sup>4</sup>*

## Resumo

Um dos processos mais utilizados nas indústrias metal-mecânica é o de estampagem de metais, que teve início por volta do século XVIII. Atualmente as formas complexas dos produtos conformados e o tempo disponível para o seu desenvolvimento das ferramentas tornaram a tarefa de desenvolvimento do ferramental um desafio complexo para os técnicos e engenheiros industriais. Com a implantação do sistema CAD / CAM houve uma melhora significativa nos projetos e na manufatura de ferramentas, entretanto a Engenharia de processos ainda vem sendo realizada de forma empírica, ou seja, baseada nas experiências dos profissionais da área, proporcionando pouco avanço tecnológico para redução de custos e tempo, quando comparado aos ganhos auferidos na usinagem. Hoje o conceito de fabricação do produto de massa, consiste em conceber a peça, projetar o ferramental, construí-lo fisicamente e realizar testes e ajustes (*tryout*) até obter a peça final na qualidade desejada. O trabalho apresenta uma metodologia alternativa de desenvolvimento de produtos estampados, tornando possível a realização de um processo de fabricação virtual, com o auxílio de software de simulação (CAE), mesmo antes da construção do primeiro protótipo da ferramenta. Este método propicia a obtenção de uma peça final em menor tempo, reduzindo os números de *tryout* e modificações de ferramental, racionalizando custos, prevenindo falhas e dando maior garantia de qualidade no produto final.

**Palavras-chave:** Estampagem; Conformação; Simulação; Elementos finitos.

<sup>1</sup> Contribuição técnica a ser apresentada no 3º encontro da cadeia de ferramentas, moldes e matrizes da ABM, que será realizado entre 10 a 12 de agosto de 2005 na sede da ABM – São Paulo – S.P.

<sup>2</sup> Diretor de Negócios de Vendas da SMARTtech Serviços e Sistemas LTDA.

<sup>3</sup> Gerente de Serviços de Engenharia da SMARTtech Serviços e Sistemas LTDA.

<sup>4</sup> Técnico de Cálculos da SMARTtech Serviços e Sistemas LTDA.

## INTRODUÇÃO

A conformação do aço consiste em transformar uma chapa plana em uma forma pré-definida, a chapa sofre uma grande transformação nesse processo, dependendo da complexidade e/ou da profundidade do repuxo faz-se necessárias varias operações sucessivas para a chapa não ter um afinamento excessivo na espessura até obter o modelo proposto.

Costuma-se traçar quadriculado na chapa inicial para constatar, após a operação de conformação, as deformações sofridas e dessa maneira localizar e corrigir as falhas, é valido lembrar que esses ajustes no *tryout* são comuns em ferramentas de repuxo. Dentro das variáveis que afetam a qualidade do produto final, destacaremos algumas:

- *Blank* ou Disco inicial;
- Atrito das ferramentas com o *blank*;
- Material da chapa;
- Prensa, velocidade do punção;
- Geometria do produto.

## OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é mostrar, de uma forma simples, como um programa de simulação computacional pode auxiliar aos técnicos da área a utilizar essa ferramenta no seu cotidiano, antes do ferramental iniciado, confirmando a estampabilidade do produto, determinando um disco inicial, verificando a distribuição de espessuras final, viabilizando o processo de produção em tempo reduzido.

## MATERIAL E MÉTODOS

A elaboração do modelo em elementos finitos, a execução das análises e o processamento dos resultados foram desenvolvidos utilizando os recursos de modelagem e simulação disponíveis nos softwares HyperForm7.0 e HyperView7.0 respectivamente, desenvolvidos pela empresa Altair Inc.

Na Figura 1 apresentamos a geometria da ferramenta que será estudada, nota-se que para o cálculo de peças simétricas (neste caso axis-simétrica, representada bi-simetricamente) não se necessita desenhar a geometria do ferramental total, apenas um quarto dela, poupando tempo de cálculo e obtendo os mesmos resultados caso esta estivesse inteiriça.

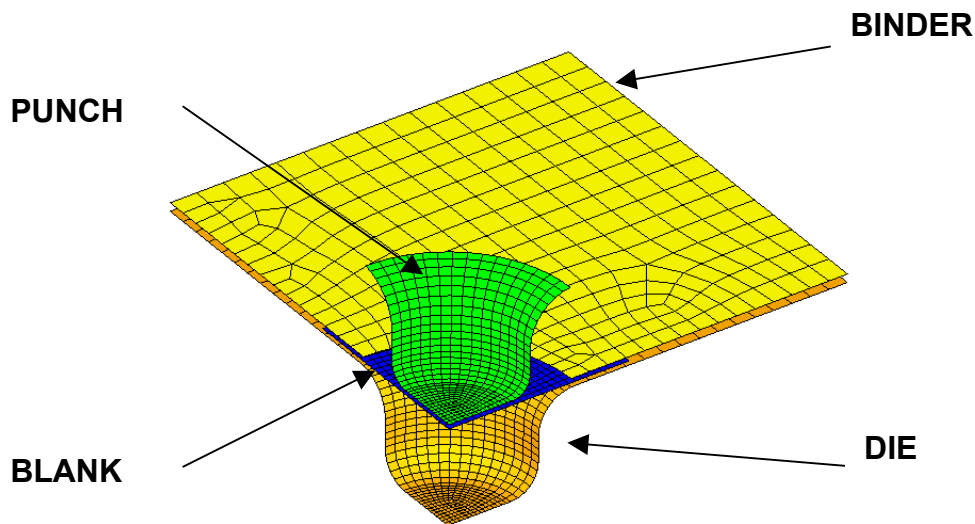


Figura 1. Geometria da ferramenta em elementos finitos.

Das variáveis do processo de estampagem citadas na introdução, escolhemos três para o estudo:

- Tamanho do disco inicial;
- O atrito das ferramentas com o *blank*;
- O material da chapa a ser estampada.

O disco inicial, ou *blank* foi gerado automaticamente pelo programa de simulação que se mostrou bastante eficiente no processo, sem a necessidade de alteração em suas medidas, sendo apresentado na Figura 2.

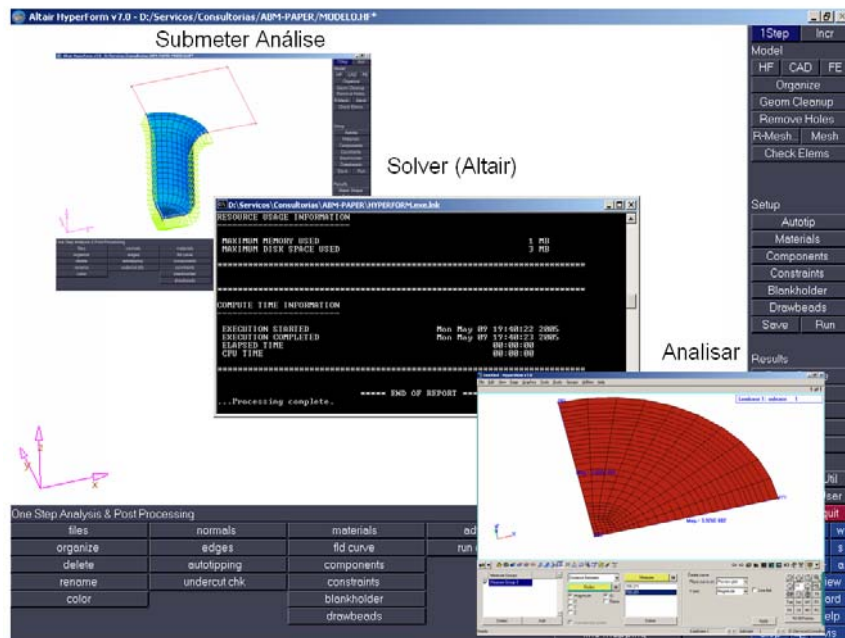


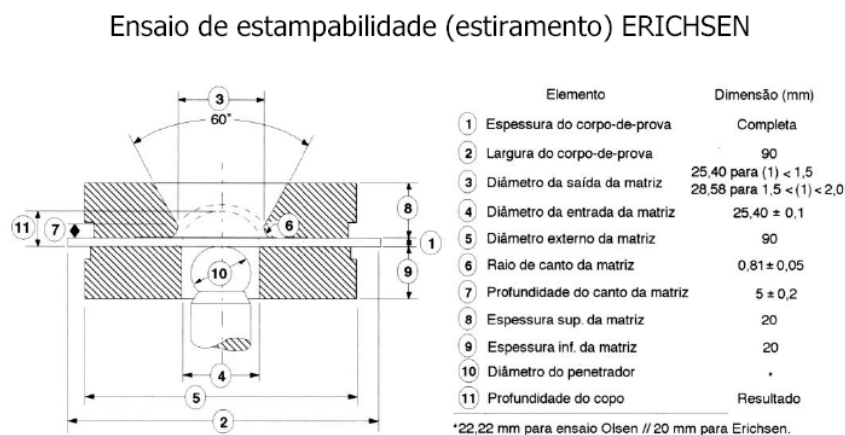
Figura 2. Imagem capturada do programa de simulação gerando um blank a partir da geometria da matriz.

O atrito é a resistência ao deslocamento do blank em relação a matriz, punção e prensa chapa. Segundo as leis de COULOMB-MORIM:

1. O atrito depende do peso do corpo.
2. A força de atrito depende do acabamento das superfícies.
3. O atrito independe das áreas de contato.
4. A força de atrito é sempre contrária as tendências do movimento.

Portanto, quando reduzimos a área de contato, o mesmo não ocorre com o atrito, pois no item três verificamos que este independe das áreas de contato (uma simplificação neste caso onde não há esfoliação das superfícies envolvidas), mas por outro lado temos o segundo item referente ao acabamento, e para se obter acabamentos finos convêm-se reduzir a área de contato, pois estes acabamentos envolvem operações de alto custo. Como o quarto item exemplifica o atrito, logo este será um obstáculo para que o blank deslize. Adotaram-se dois valores de atrito para o estudo  $\mu = 0.05$  e  $\mu = 0.009$ , retirados da literatura técnica [1] presente no mercado nacional.

O material da chapa é uma das mais importantes variáveis dentro do processo de estampagem e é também para a simulação computacional, sendo este bem caracterizado no programa, os resultados obtidos serão bem próximos dos observados em teste. Para se obter esta caracterização é necessário que haja ensaios de estampabilidade de ERICHSEN Figura 3 e SWIFT Figura 4.

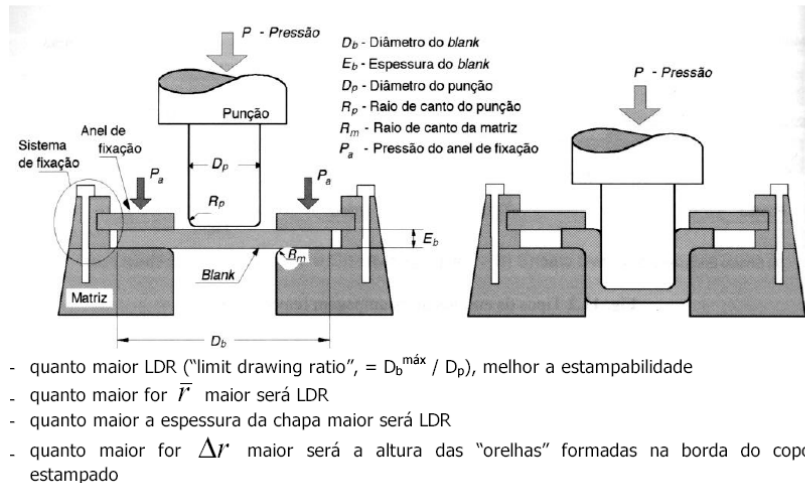


[Adaptado da ASTM E643 –84.]

- quanto maior IE (profundidade do copo, em mm), melhor a estampabilidade
- quanto maior o coeficiente de encruamento ( $n \cong e_u'$ ) maior será IE
- quanto maior for a espessura da chapa maior será IE

**Figura 3.** Croquis do ensaio de ERICHSEN

### Ensaio de estampabilidade (embutimento) SWIFT



**Figura 4.** Croquis do ensaio de Swift.

Além dos ensaios é importante entender o que é a anisotropia e como ela influencia no repuxo. A anisotropia plástica representa a variação das propriedades mecânicas em função da direção em que as mesmas estão sendo medidas. Nos metais a causa mais importante da anisotropia plástica é a orientação dos grãos, ou seja, a orientação da estrutura cristalográfica. Macroscopicamente a anisotropia possui ligação direta com o processo de fabricação das peças metálicas, especialmente no caso de chapas laminadas, pois é a laminação que alinha os grãos em um determinado sentido, o que gera uma orientação preferencial que irá modificar a capacidade de deformação do material nas diferentes direções em relação à direção de laminação. Por esse motivo a anisotropia é de tanta importância para processos de repuxo, porque ela é responsável pela variação de espessura e pela formação de "orelhas" na estampagem profunda [2].

Valores elevados de anisotropia significam menos instabilidade plástica, por esse motivo os valores altos são preferencialmente utilizados para que se possa aumentar a capacidade de deformação na largura com reduções pequenas na espessura. A anisotropia pode ser calculada conforme indica a figura 05.

Anisotropia normal média:

$$\bar{r} = \frac{r_{0^\circ} + r_{90^\circ} + 2.r_{45^\circ}}{4}$$

$\bar{r} = 1$  .... material isotrópico

$\bar{r} > 1$  .... material anisotrópico, deforma mais na largura

$\bar{r} < 1$  .... material anisotrópico, deforma mais na espessura

Anisotropia planar:

$$\Delta r = \frac{r_{0^\circ} + r_{90^\circ} - 2.r_{45^\circ}}{2}$$

$\Delta r = 0$  .... material isotrópico

$\Delta r > 0$  .... material anisotrópico, formará "orelhas" num copo estampado nas direções  $0^\circ$  e  $90^\circ$

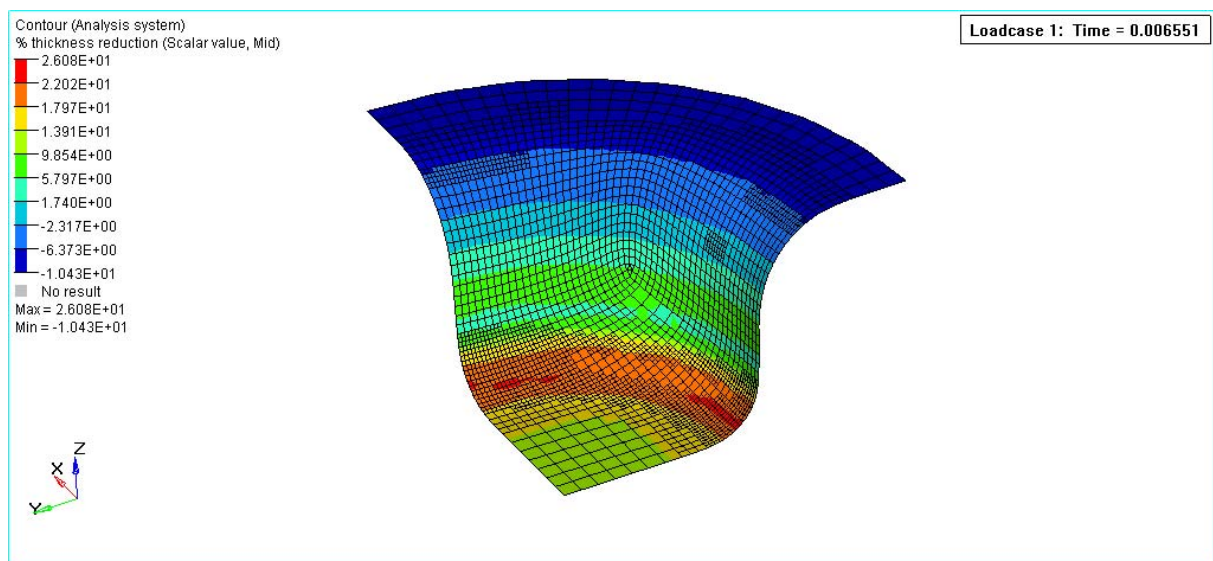
$\Delta r < 0$  .... material anisotrópico, formará "orelhas" num copo estampado nas direções  $45^\circ$

**Figura 5.** Formula da anisotropia normal e planar

Para este cálculo, definimos um tipo de material com tensão de escoamento de 185 MPa, coeficiente de encruamento de 544 MPa, taxa de encruamento de 0.21 adimensional,  $r_{0^\circ}$  de 2.03,  $r_{45^\circ}$  de 1.7 e  $r_{90^\circ}$  de 2.63, dados provenientes de medições diretas de caracterização, em uma chapa de 2.0[mm] de espessura. Para tanto, foram configurados de formas distintas no programa de simulação. Na primeira configuração foi utilizado tipo “transversalmente anisotrópico elasto-plástico” e na segunda utilizou-se a configuração com os parâmetros de BARLAT [3].

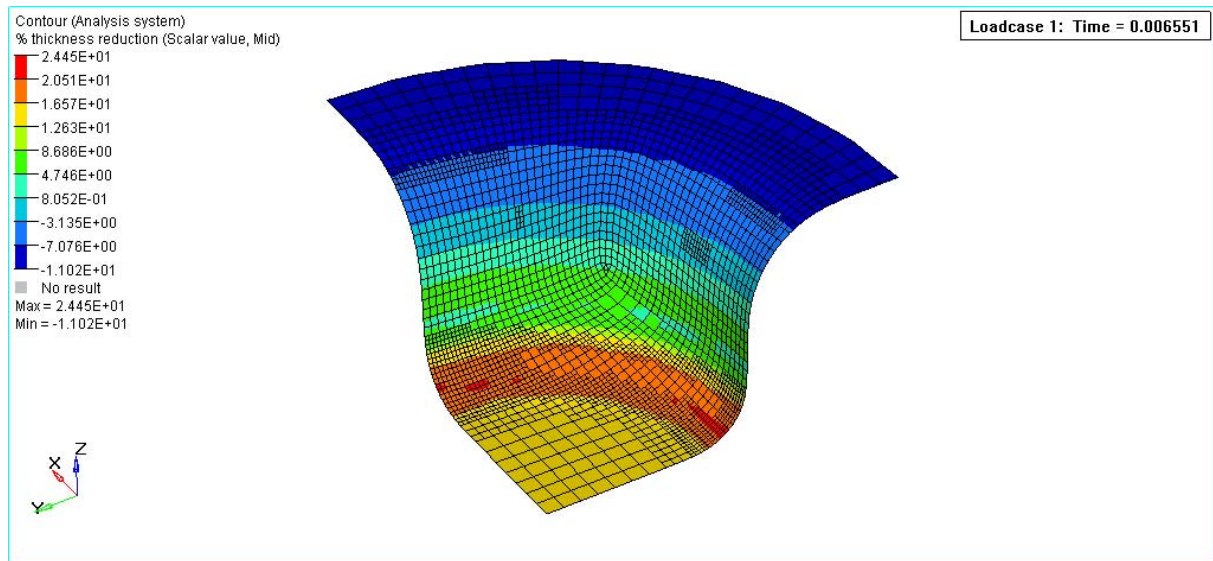
## RESULTADOS

Com atrito de 0.05 e a configuração “transversalmente anisotrópico elástico-plástico” houve uma redução de espessura de 26%, conforme Figura 6, a espessura inicial era de 2.0[mm].



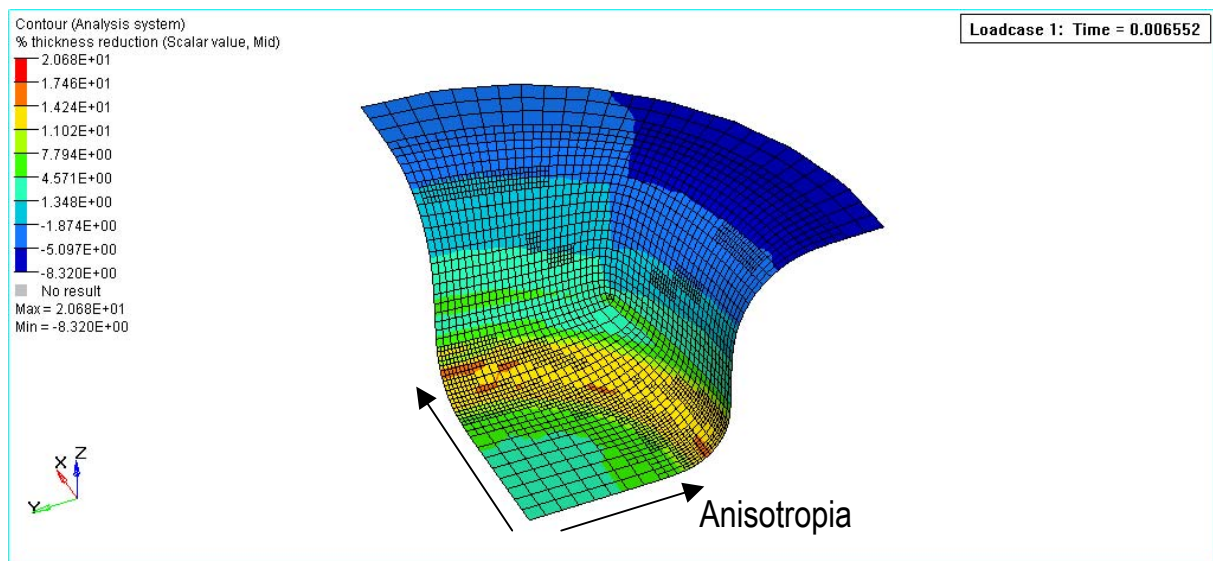
**Figura 6.** Redução de espessura de 26%, com atrito de 0.05.

Com atrito de 0.009 e a configuração “transversalmente anisotrópico elástico-plástico” houve uma redução de espessura de 24%, conforme Figura 7.



**Figura 7.** Redução de espessura de 24%, com atrito de 0.009.

Com atrito de 0.009 e a configuração parâmetro de BARLAT houve uma redução de espessura de 20%, conforme Figura 8.



**Figura 8.** Redução de espessura de 20%, com atrito de 0.009.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Dos resultados apresentados, acerca do parâmetro de atrito, percebe-se claramente a influência deste nos resultados de redução de espessura, primordial avaliação para determinação da aprovação ou não do processo. Conforme demonstra a prática, a adição de componentes como grafite e pasta de estampagem contribui muito para minimizarem-se os efeitos causados pelo atrito no estiramento.

Os resultados de anisotropia demonstram claramente necessidade da correta caracterização dos materiais através de ensaios simples e de baixo custo como o embutimento de Erichsen e tração ortogonal para caracterização da anisotropia. A baixa performance do material isotrópico “transversalmente anisotrópico elasto-plástico” (utilizado neste estudo com o coeficiente de anisotropia 1, sendo portanto isotrópico) quando comparado ao material de mesma resistência mecânica, porém, anisotropia acentuada ( $r_{0^\circ}=2.03$ ,  $r_{45^\circ}=1.7$  e  $r_{90^\circ}=2.63$ ) explica-se pela tendência desse a esticar isotropicamente tanto na largura quanto na espessura, o que não se observa no material que segue os parâmetros de Barlat, que tende a esticar mais lateralmente.

A ferramenta de simulação computacional demonstra utilidade ímpar quando aplicada no desenvolvimento de um produto; pela redução de tempo de *setup*, número de *tryouts*, otimização de parâmetros geométricos do *blank*, etc. Tão importante quanto, é o potencial de aprendizado e entendimento frente aos fenômenos observados na execução do processo de estampagem, ferramenta de grande utilidade aos técnicos de ferramentaria, que podem usufruir simulações hipotéticas para, inclusive, orientar as atividades de *tryout*.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 De Brito, Osmar, Técnicas e aplicações em Estampo de Corte; (1981)
- 2 Hermanson, João Gustavo; Batalha, Gilmar Ferreira; “Desenvolvimento de Estudos de Conformação Hidrostática – Hidroconformação”
- 3 Hyperform, Altair Inc., Structural Analysis Guide, Release 7.0, 2005.



# COMPUTER SIMULATION SUPPORTING THE DEVELOPMENT OF STAMPED METAL SHEET

*Magnus Varassin Arantes<sup>2</sup>*  
*Ivo De Castro Junior<sup>3</sup>*  
*Alessandri Leis<sup>4</sup>*

## **Abstract**

One of the most used processes in the industries of metallurgy in the field of metal stamping has its beginning dating from the middle of century XVIII. Currently the complex forms of the formed products and the available time for its development had become the task of developing the tool rack, a complex challenge for the technician and engineers. With the implementation of CAD/CAM systems a significant improvement was archived, however the processes engineering still comes to be carried through of empirical form, or either, based in the experiences of the professionals in the area, providing low technological advance for reduction of costs and time, when compared to the profits gained in the tooling. Today's concept of massive product manufacturing consists of conceiving the part, projecting the tool rack, build it physically and carry out tests and adjustments (tryout) until getting to the desired quality. The present article presents an alternative methodology of development for stamped products, making possible the accomplishment of a process of virtual manufacturing, with the aided simulation software (CAE), exactly before the construction of the first archetype of the tool. This method allow us to the attainment of a final part in lesser time, reducing the numbers of tryout and modifications in the tool rack, rationalizing costs, foreseeing imperfections and giving bigger quality assurance to the product.

**Key-words:** Stamping; Forming; Simulation; Finite element.