

# BENEFÍCIOS DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROCESSO DE FORJAMENTO

Angela Selau Marques<sup>1</sup>  
Vinicius Martins<sup>2</sup>  
Lírio Schaeffer<sup>3</sup>

## RESUMO

O forjamento caracteriza-se por um processo de conformação mecânica amplamente utilizado em virtude de sua boa precisão dimensional, pouca perda de material e excelentes propriedades mecânicas conferidas ao produto final, porém a definição do processo ideal é muitas vezes obtida por métodos empíricos, ou seja, através de experiências realizadas anteriormente e, na maioria das vezes baseadas na técnica da “tentativa e erro”. Objetivando a redução de custos e a melhoria dos processos de forjamento, as empresas tem buscado cada vez mais o auxílio de softwares de simulação numérica aplicados ao processo de forjamento. Apesar de o investimento inicial ser alto, os benefícios trazidos pelos softwares são rapidamente percebidos, assim, justificando o investimento inicial. Através do uso destas ferramentas pode-se otimizar o processo, reduzindo etapas, melhorar o acabamento do produto final e também prever a microestrutura final do produto forjado. O foco principal deste trabalho é apresentar um estudo de caso da simulação do forjamento de uma peça, através do software PEP/Larstran, demonstrando os recursos disponíveis e utilizados no sistema para simulação da peça em estudo.

**Palavras-chave:** Forjamento, Simulação numérica, PEP/Larstran.

**Contribuição técnica a ser apresentada 16ª Conferência Internacional de Forjamento – Brasil/RS, 22 a 24 de outubro de 2012, Porto Alegre, RS, Brasil.**

<sup>1</sup>Professora do Instituto Federal Sul rio-grandense IF Sul – Campus Sapucaia do Sul  
Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. [angela\\_selau@ufrgs.br](mailto:angela_selau@ufrgs.br)

<sup>2</sup>Professor do Instituto Federal Sul rio-grandense IF Sul – Campus Sapucaia do Sul  
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica. (LdTM), Depto. de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. [viniciushiper@yahoo.com.br](mailto:viniciushiper@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Prof. Dr. -Ing. Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Depto. de Metalurgia, PPGEM, UFRGS. Av: Bento Gonçalves, 9500. CEP: 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil. [schaeffer@ufrgs.br](mailto:schaeffer@ufrgs.br)

## 1. INTRODUÇÃO

O termo forjamento utiliza-se para designar um processo de conformação mecânica no qual o material sofre uma deformação plástica e a alteração da forma se dá por força de compressão exercida por um martelo ou por prensas, que podem ser hidráulicas ou mecânicas. Este processo permite fabricar uma gama bastante diversificada de peças de diferentes tipos de materiais metálicos. O campo de aplicação destas peças estende-se a um conjunto de indústrias

muito vasto, das quais destacam-se pela sua importância: a dos transportes, ferroviário, a de fabricação de peças para máquinas industriais e de produção de energia. Citam-se como exemplos de componentes forjados: Bielas, pistões e polias para a indústria automotiva. Para usar pressões mais altas nos motores turbinados sem grandes riscos de quebra, uma solução é a utilização de pistões e bielas forjados, muito mais resistentes que os componentes originais e garantem maior durabilidade ao motor [1].

O processo de forjamento é dentre os processos de fabricação, por deformação plástica, aquele que apresenta maior importância industrial, pois permite a fabricação de peças com geometria complexa e de grande precisão com elevada produtividade. Apesar destas vantagens, a elevada produtividade está em geral associada à utilização de uma gama de velocidades de deformação com influência direta na tensão de escoamento do material a forjar. Esta é uma das principais dificuldades para quem trabalha com simulação numérica dos processos de forjamento, pois nem sempre os dados do material cadastrado no software são os mesmos daquele metal que utilizado na fabricação da peça, isso se deve as variações nas condições da obtenção da matéria prima. Em virtude disto recomenda-se fazer ensaios que determinam a verdadeira tensão de escoamento do material [2].

O método de elementos finitos (FEM) pode modelar o processo industrial do forjamento e avaliar as condições do processo ou dos parâmetros de projeto e os resultados servem para uma decisão melhor da engenharia, podendo ser testados e analisados sob diversas situações e quantas vezes for necessária num curto espaço de tempo, o que representa economia por se tratar de testes computacionais [3].

Neste estudo utiliza-se para a simulação do processo de forjamento o programa PEP/Larstran, desenvolvido pela empresa alemã LASSO e a sua interface PEP foi desenvolvida em parceria com o IBF (Institut für Bildsame Formgebung). Este programa pode realizar simulações tridimensionais com ou sem simetria e simulações bidimensionais através de simetria plana ou axial de vários processos de fabricação mecânica, tais como: laminação, extrusão e forjamento. Além disso, pode-se realizar simulações da evolução microestrutural do material durante um processo de conformação mecânica, utilizando-se de um modelo onde a tensão de escoamento é baseada na densidade de discordâncias, obtida através de comparações entre ensaios de compressão e simulações, para prever o tamanho de grão do material em diferentes regiões de uma peça conformada mecanicamente.

## **2. O USO DE ELEMENTOS FINITOS NA CONFORMAÇÃO MECÂNICA**

A primeira pessoa, que se tem registro, a usar o termo “elemento finito” foi Clough [4], sendo que os primeiros desenvolvimentos do método de elementos finitos ocorrem na década de 1950 através dos trabalhos de Turner et al. [5]. Nos anos 60 iniciaram-se as primeiras aplicações do método, efetuadas na resolução

de problemas de análise estrutural com utilizações de domínio das tecnologias de fabricação e na década de 70 desenvolveu-se uma formulação alternativa chamada de formulação do escoamento plástico ou “*flowformulation*”. Essa formulação caracteriza o escoamento dos materiais metálicos em deformação plástica de uma forma análoga ao escoamento dos fluidos viscosos incompressíveis a qual serve de base para vários programas de elementos finitos, inclusive o PEP/Larstran utilizado neste estudo [6].

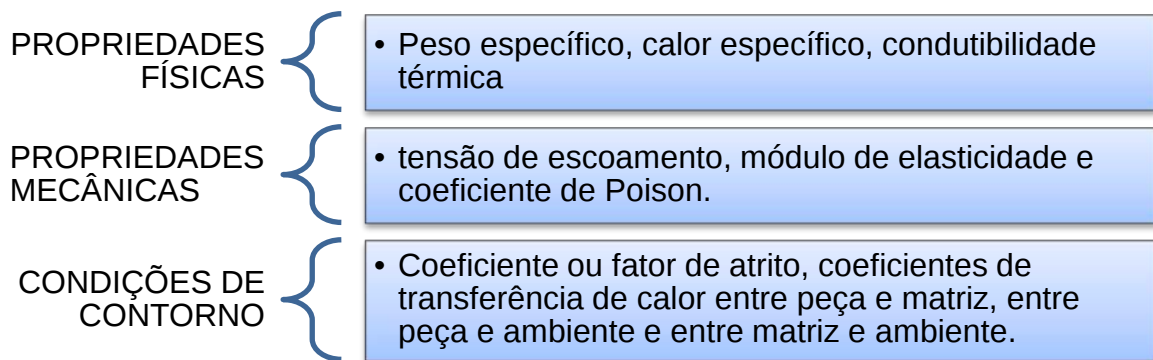
Nos últimos anos a indústria de conformação mecânica experimentou um grande avanço na área de projeto devido ao aprimoramento dos programas de simulação numérica deste processo. Em meados da década de 90, a maioria dos programas possibilitavam a simulação do processo de forjamento para peças de simetria axial e outras onde o fluxo de material pudesse ser aproximado como ocorrendo em apenas duas dimensões (deformação plana). Atualmente, pode-se dizer que os programas de simulação tornaram-se uma ferramenta prática e essencial para o desenvolvimento e otimização da tecnologia de processos de deformação plástica. Inúmeros programas comerciais, baseados em diferentes métodos de solução estão disponíveis no mercado. Os métodos de solução mais empregados são: elementos finitos, volumes finitos, elementos de contorno.

A Tabela 1 apresenta alguns dos principais softwares utilizados para este fim, além disso, informa-se o respectivo fabricante por cada para realizar a simulação [7].

| Nome           | Fabricante                                 |
|----------------|--------------------------------------------|
| EESY-FORM      | CPM Gesellschaft für Computeranwendung     |
| DEFORM         | ScientificForming Technologies Corporation |
| FORGE          | Transvalor SA                              |
| MARC Autoforge | MARC Analysis Research Corporation         |
| Simufact       | Simufact                                   |
| Qform          | Quantor                                    |
| MSC Superforge | Technical Project Coordinator              |

**Tabela 1-** Marcas e fabricantes de softwares

Independente do software que se utilize alguns pré-requisitos são fundamentais para obtenção de bons resultados na simulação. Entre estes pré-requisitos tem-se a introdução no programa de valores confiáveis para as propriedades físicas e mecânicas e das condições de contorno, tais como:



Considerando a importância dos itens citados acima, para uma representação numérica eficiente, realizam-se ensaios para obter as propriedades corretas e adequadas que devem ser inseridas no software. Os ensaios mais utilizados são o ensaio de compressão, ensaio do anel e de torção.

### 3. O PROGRAMA DE SIMULAÇÃO LARSTRAN

O sistema PEP/Larstran, também identificado por *Programmer's Environment for Pre-Postprocessing / Larstran* é um sistema de simulação numérica de processos termomecânicos baseado no Método de Elementos Finitos, que permite a criação e simulação de modelos 2D e 3D de diferentes processos de conformação mecânica.

O PEP/Larstran é composto por três componentes: pré e pós-processador (PEP) e *solver* ou processador (Larstran). No pré-processador é realizada basicamente a modelagem de geratrizes e matrizes que compõem o processo, a montagem do modelo e a inserção dos dados de entrada para a simulação, como temperaturas, propriedades de materiais, atritos, condições de contorno, graus de deformação, controles de simulação, tipo de acoplamento, etc. O *solver* importa as informações inseridas no pré-processador, realiza os cálculos necessários e remalhamentos quando necessários soluciona o problema e exporta os resultados na forma de um arquivo binário. Através do pós-processador então é possível importar as informações e resultados contidos no arquivo binário originado do *solver* e plota os resultados através de uma interface gráfica com animações.

O *software* permite cálculo com os seguintes acoplamentos [8]:

- ✓ Mecânico (regime viscoplástico);
- ✓ Térmico (somente cálculos de temperatura);
- ✓ Elástico (comportamento elástico linear, lei de Hook);
- ✓ Elastoplástico (regime elastoplástico, Prandl-Reuss);

Termomecânico, que é a interação térmica e mecânica, levando em consideração a dissipação e o calor emitido pela geratriz ao meio externo. O banco de dados possibilita que a curva de escoamento dos materiais inseridos seja descrita de diferentes formas:

- Valores tabelados, em que a tensão de escoamento é em função da temperatura, deformação e velocidade de deformação. Quando a simulação necessita de valores de tensões de escoamento diferentes dos tabulados, o software calcula estes valores através de interpolação dos dados tabulados.
- Formulação matemática para descrição da curva de escoamento segundo Hensel-Spittel.

Para processos de conformação mecânica a quente, o PEP/Larstran permite a utilização de duas variações da formulação matemática para descrição de curva de escoamento proposta por Hensel e Spittel conforme mostra a Equação 1, que é a Equação de Hensel-Spittel1, para descrição de curva de escoamento a quente [9].

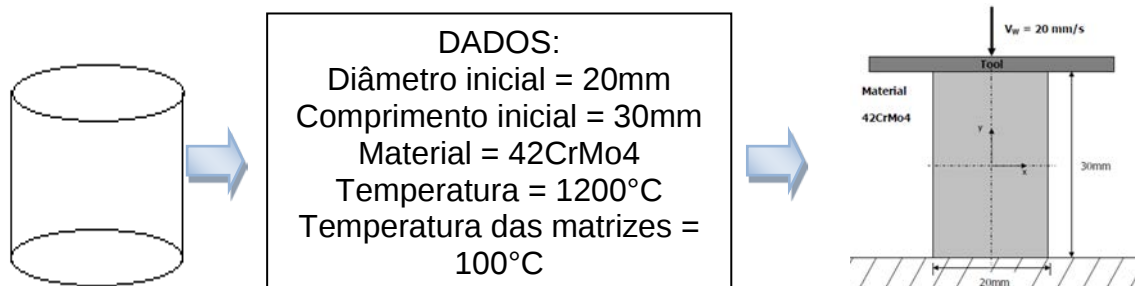
$$k_f = \sigma_0 \cdot A_1 e^{-m_1 T} \cdot A_2 \varphi^{m_2} \cdot A_3 \dot{\varphi}^{m_3} \quad (1)$$

Onde:  $k_f$  = tensão de escoamento;  $\varphi$  = deformação equivalente;  $\dot{\varphi}$  = velocidade de deformação ou Strain Rate da literatura inglesa; T = temperatura e A e m são constantes dependente da temperatura.

Com a inserção destes e de outros modelos matemáticos em *softwares* de simulação numérica de processos termomecânicos é possível obter um cenário completo, tanto em características como forças, deformações, tensões, geometrias e quanto em relação à evolução microestrutural do material ao longo do processamento. O PEP/Larstran, possui um módulo, que pode ser adicionado a ele, chamado de *microestruturalStrucsim*, este permite a simulação da microestrutura.

#### 4. SIMULAÇÃO DE UMA PEÇA FORJADA UTILIZANDO O PEP/LARSTRAN

Este programa possui algumas particularidades que o diferenciam dos demais sistemas, principalmente daqueles comerciais citados no início deste estudo. A primeira delas é a sua interface de trabalho no formato de banco de dados, que leva o usuário a uma rotina de trabalho muito diferente daquela utilizada no Simufact, por exemplo. A segunda grande diferença é a forma como os comandos estão dispostos e organizados, para desenhos 2D, por exemplo, utiliza-se o programa PEP, que possui recursos para criação de linhas e arcos que representaram o “*billet*”, ou seja, o material a ser forjado. O exemplo descrito a partir da Figura1 demonstrará de forma detalhada os passos a serem executados no software PEP/Larstran para criar um modelo de elementos finitos (FEM) simulando a compressão de um corpo sólido com as seguintes características:

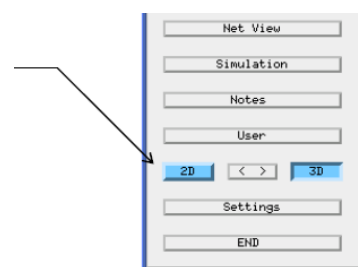


**Figura 1** – Representação do corpo a ser deformado

O processo de simulação no PEP/Larstran, divide-se em três etapas: Pré-Processamento, Processamento e Pós-Processamento. A seguir será descrito as operações realizadas em cada uma delas:

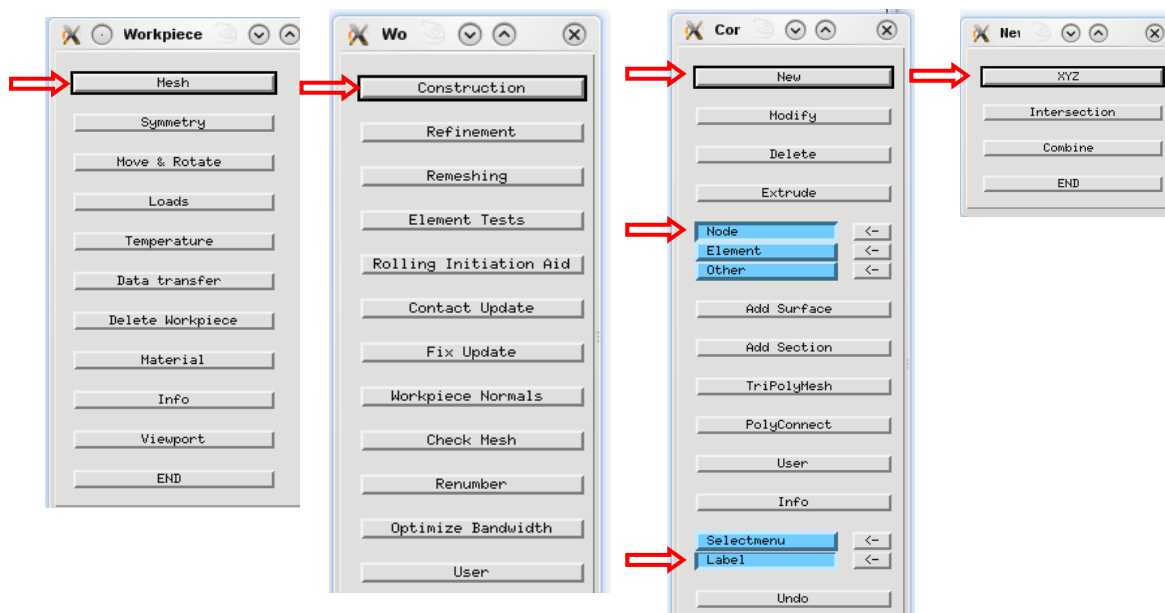
**Pré-Processamento:** Nesta etapa é criada a geometria da peça ( *workpiece*) e da ferramenta de conformação. Tanto a ferramenta como a peça, se forem de uma geometria simétrica, podem ser desenhadas representativamente somente por um lado (metade) de sua real geometria. Também defini-se, o material da peça, bem como suas características. As informações referente ao processo, velocidade de deformação, temperatura da peça e da matriz, são todas informadas nesta etapa. Características da malha, tais como, tamanho, refino e ajustes também são definidas no pré-processamento. A Figura 2 apresenta o comando para desenhar em 2D.

A primeira etapa consiste em desenhar a peça que sofrerá a deformação, denominada por *workpiece*. Para iniciar o desenho bidimensional da peça, faz-se a seleção desta opção, na barra de ferramentas principal, conforme mostra a figura 2:

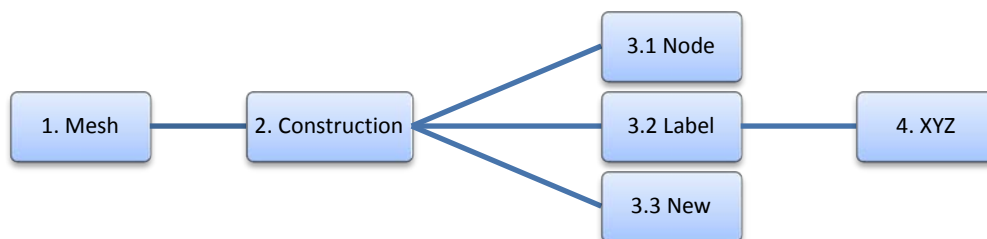


**Figura 2** – Comando para desenhar em 2D

Em seguida, seleciona-se os comandos na ordem descrita no fluxograma da Figura 3 e a sequência de comandos que devem ser selecionados para desenhar a peça (*workpiece*):

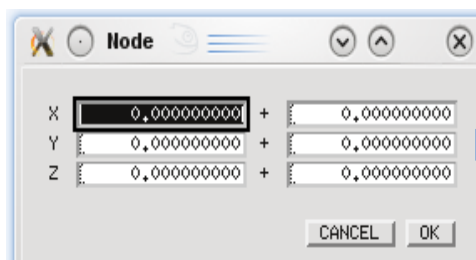


**Figura 3** – Fluxograma e sequência dos comandos para desenhar em 2D



Após seleccionar o comando XYZ, é necessário inserir as coordenadas dos nós que serão usados para desenhar as linhas do modelo como exibe a Figura 4:

|      | X  | Y  | Z |
|------|----|----|---|
| Nó 1 | 0  | 0  | 0 |
| Nó 2 | 10 | 0  | 0 |
| Nó 3 | 10 | 15 | 0 |
| Nó 4 | 0  | 15 | 0 |

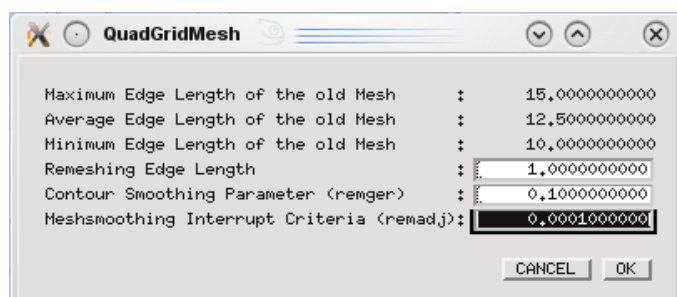


Nesta janela deve-se inserir as coordenadas dos nós, após inseri-las clicar em **OK** e então colocar a coordenada seguinte. Para sair do comando clicar em **CANCEL**.

**Figura 4 – Inserção das coordenadas dos nós.**

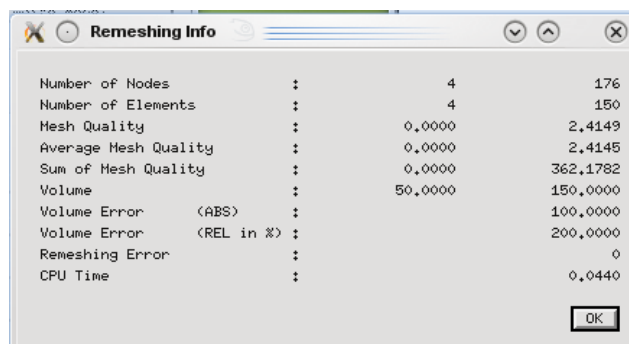
Na janela *Coordinates*, clicar em *Element*, e manter a seleção de *Label*. Em seguida clicar em dois nós, por exemplo, nó 1 e nó 2, depois confirmar com o botão direito do mouse, uma linha aparecerá unindo os dois pontos. Repetir este procedimento até fechar o retângulo com as quatro linhas correspondentes, deverá aparecer um retângulo. Para sair desta janela, ou de qualquer outra, clica-se em *End*. A janela *WorkpieceMesh*, está novamente habilitada, e nela seleciona-se o comando *Remeshing* e em *QuadGridMesh*.

Uma lista com diferentes tipos de malhas aparece, é necessário escolher as configurações que melhor se adaptam para o modelo em estudo. Neste caso utilizam-se os parâmetros conforme demonstrado na Figura 5:



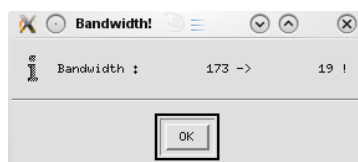
**Figura 5 - Configuração da malha.**

Depois de criada a malha aparecerá na tela informações dos parâmetros inseridos até o momento, conforme mostra a Figura 6:



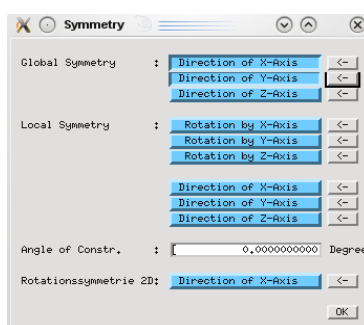
**Figura 6** - Informações da malha.

Gerada a malha 2D, é necessário voltar ao menu *WorkpieceMesh*, e verificar se a malha está correta através da opção *CheckMesh*. Realizado isto, é ainda necessário selecionar a opção *Optimize Bandwidth*. Esta opção otimiza a malha, reduzindo tempos de processamento, pois ela elimina nós duplicados e isolados que não tenham utilidade. Com o OK e END, volta-se para a barra de ferramenta principal. A Figura 7 mostra que foi possível diminuir de 173 pontos para 19.



**Figura 7** - Otimização da malha.

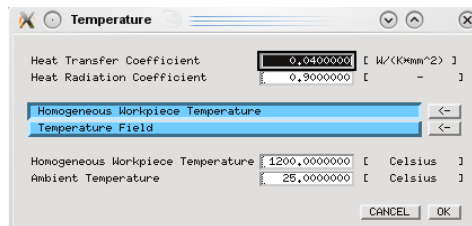
Quando estamos simulando a conformação de um modelo que possui geometria simétrica, podemos desenhar apenas um lado da peça e indicar ao sistema, através do sistema de coordenadas que sua geometria se repete nos demais eixos. Isso é importante, pois reduz o tempo de processamento. Para realizar tal feito, deve-se clicar em *Workpiece* depois em *Symmetry*, então abre-se a janela mostrada na Figura 8. Nesta deve-se marcar as direções X e Y, indicando assim que a peça possui simetria nos eixos X e Y. Estas informações devem ser confirmadas clicando-se no botão OK.



**Figura 8** - Simetria.

O último passo com relação a peça é inserir informações referente a temperatura da *Workpiece*, conforme mostra a Figura 9. Depois de inseridos os dados de Coeficiente de transmissão de Calor = 0,04 W/(Kmm<sup>2</sup>), Coeficiente de emissão de Calor = 0,9; Temperatura da *Workpiece* = 1200 °C e Temperatura

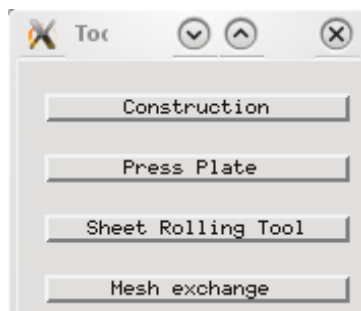
ambiente = 25 °C. para que eles sejam confirmados clicar em OK e depois em CANCEL para sair do comando.



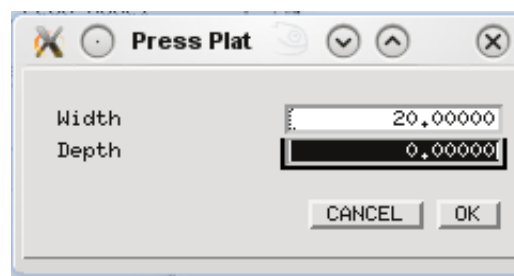
**Figura 9** – Informações sobre Temperatura.

#### 4.1 FERRAMENTA:

Terminada a etapa de inserção dos dados da peça, iniciamos a modelagem da ferramenta, para isso, clique no ícone *Tools*, na barra de ferramentas principal. Para o exemplo deste estudo, a compressão da peça se dá através de uma matriz plana, representada por uma linha no software. Para desenhá-la, deve-se clicar em *PressPlate*, conforme mostrado na Figura 10, em seguida abre-se uma janela, na qual deve-se indicar a largura e a profundidade da ferramenta, neste caso, utiliza-se os valores de 20 mm para a largura e 0 mm para a profundidade, conforme indicado na Figura 11.

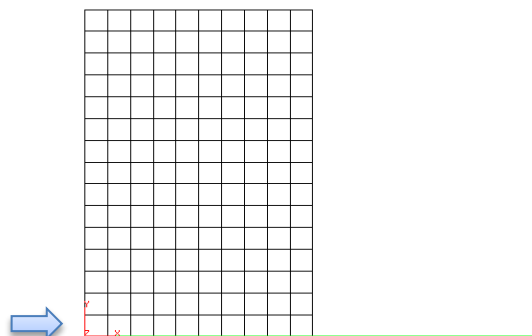


**Figura 30** - Press Plate



**Figura 41** - Medidas da Ferramenta

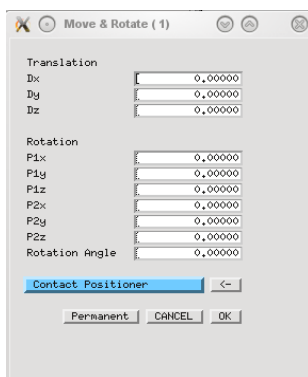
A representação gráfica da ferramenta aparece na parte inferior da *Workpiece*, conforme mostra a Figura 12.



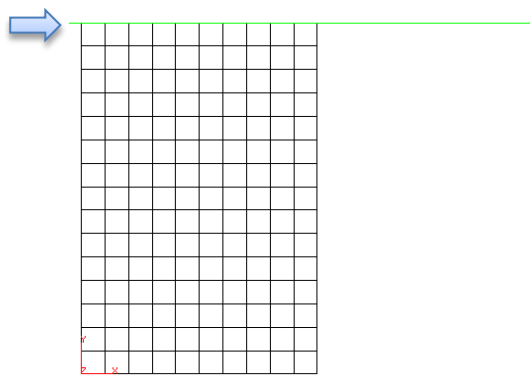
**Figura 52** - Representação da ferramenta

Para deslocar a ferramenta para o lado superior, volta-se para a barra de comandos e seleciona-se o comando *Move & Rotate*. A ferramenta deve ser deslocada 15 mm na direção Y positivo e 0,5 mm na direção X negativo. Para

confirmar os dados é necessário clicar em *Permanente* depois em *CANCEL* para sair da janela. As Figuras 13 e 14 mostram a nova posição da ferramenta.

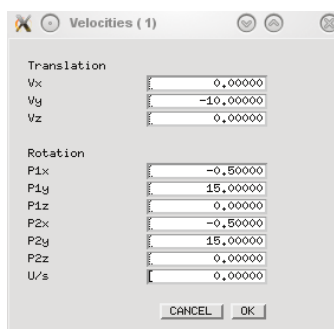


**Figura 63** - Comando *Move & Rotate*



**Figura 14** - Nova posição da Ferramenta

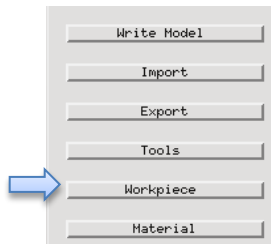
A última informação necessária, a ser inserida no software, referente a ferramenta é a velocidade de deslocamento que é de 10mm/s. Para inseri-la deve-se preencher os dados conforme apresentado na Figura 15.



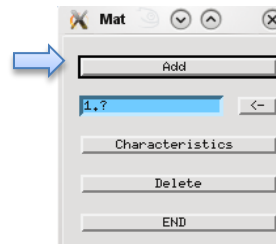
**Figura 75** - Velocidade de deslocamento da ferramenta

## 4.2 MATERIAL:

A definição do material é de extrema importância para que os resultados da simulação sejam o mais realístico possível. O software possui um banco de dados com alguns materiais cadastrados, mas caso necessário também pode-se inserir novos materiais ou modificar as características de algum material existente no banco de dados. Neste caso o material utilizado é o 42CrMo4. Na barra de ferramentas principal clicar em *Material*, e depois em *add*, na janela seguinte, conforme mostram as Figuras 16 e 17.



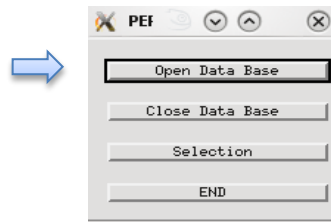
**Figura 16 - Material**



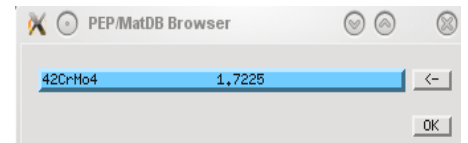
**Figura 17- Adicionar material**

Em seguida é necessário encontrar a pasta no computador que contém o arquivo 42crmo4.mdb, clicar em Read File, para que os dados sejam carregados:

Por fim, deve-se clicar em *Open Data Base*, selecionar o material e clicar em *OK*, conforme mostrado na Figura 18 e 19.



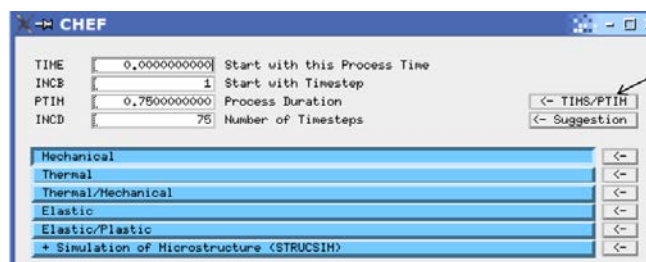
**Figura 18 - Abrir a base de dados**



**Figura 19 - Selecionar o material**

#### 4.3 DADOS DE COMANDO:

Na barra de ferramentas principal, através do comando *CHEF*, programa-se a simulação e define-se qual será a deformação que o corpo de prova sofrerá. Esta é a última etapa do Pré-Processamento. Seleciona-se o tipo de simulação desejada, através do comando *CHEF*. As simulações mais usuais são *Mechanical* que é uma simulação mais rápida, porém não considera o efeito da temperatura durante a conformação e *Thermo/Mechanical*, esta sim considera temperatura. Para este exemplo, utiliza-se a opção *Mechanical*. Na opção *TIMS/PTIM* clicase para que seja habilitada a opção *TIMS*. Para calcular *Time StepSize (TIMS)*, o valor de *Lmin* é a altura de cada *ElementLayer*, conforme é exibida na Figura 20.



**Figura 20 - Dados de comando**

#### Cálculo de TIMS ( $\Delta t$ ):

$$\Delta t = 0,1 * (l_{\min} / V_{\max})$$

Sendo que  $V_{\max}$  é o valor da velocidade da ferramenta.

$l_{\min}$  é a altura de cada *ElementLayer*

### Cálculo de *Number of Time steps (n)*:

$$n = t_{ges} / \Delta t$$

$$t_{ges} = \Delta h / V_{max}$$

Sendo que  $\Delta h$  é mudança na altura (deformação requerida).

Neste exemplo, os valores ficaram os seguintes:

$$\Delta t = 0,1 * (1\text{mm} / 10\text{mm/s}) = 0,01 \text{ s}$$

$$t_{ges} = 7,5\text{mm} / 10\text{mm/s} = 0,75 \text{ s}$$

$$n = 0,75\text{s} / 0,01\text{s} = 75 \text{ (Number of time steps)}$$

Depois de finalizado, é possível visualizar a simulação para conferir os valores, através do comando *ModelProgram* e depois clicar em *Control*. Desta forma finaliza-se as operações pertencentes a primeira etapa, chamada de Pré-Processamento. Recomenda-se salvar o trabalho realizado até aqui através do comando *Write Model*.

**PROCESSAMENTO:** É realizado o “cálculo” do modelo de simulação estabelecido. Para isso, escolhe-se no sistema o algoritmo a ser utilizado. Para iniciar a simulação, na barra de ferramentas principal seleciona-se a opção *Simulation*, neste exemplo o “solver” utilizado é o padrão do sistema, assim sendo, basta selecionar a opção *Problem specific solver*, conforme demonstra a Figura 21. Em seguida abre-se automaticamente a janela representada pela Figura 22, os dados já vem cadastrados, deve-se conferi-los e em seguida clicar em *OK*.

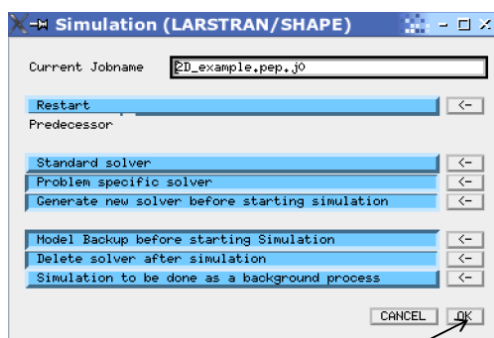


Figura 81 - Simulação

Após clicar em *OK* a simulação inicia automaticamente, esta pode ser acompanhada pela janela: *PEP-Protocol*

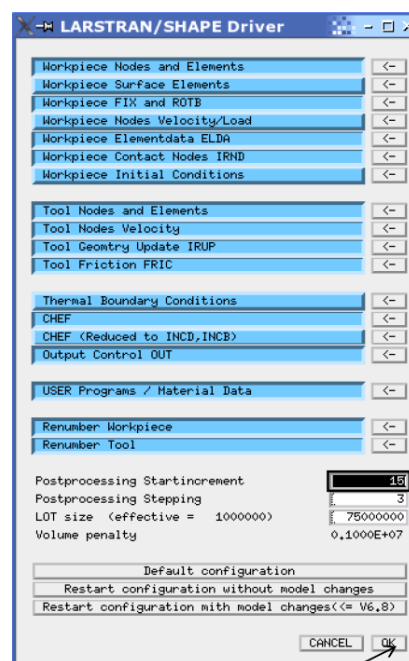
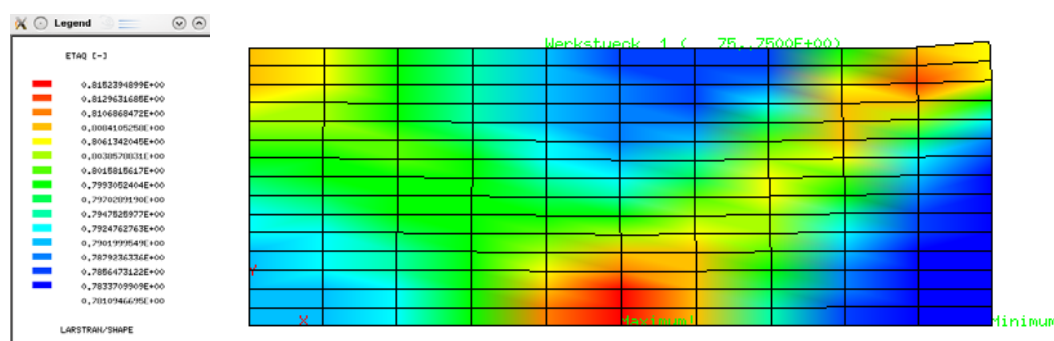


Figura 22 - Configurações da simulação.

**PÓS-PROCESSAMENTO:** Nesta etapa visualizam-se os resultados da simulação. É possível, por exemplo, verificar as tensões, as deformações e o fluxo de material sob forma de animação, que surgem na peça.

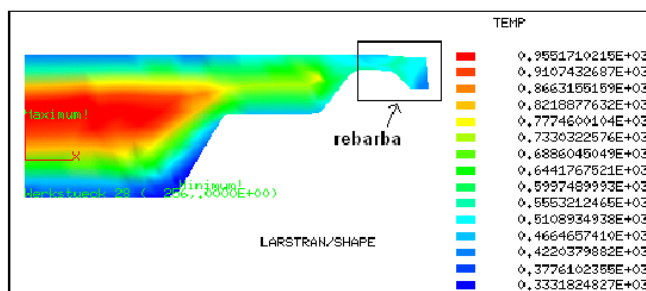
Para conseguir visualizar os dados, deve-se importar o resultado da simulação. Sendo assim, é necessário importar o arquivo de resultados através do botão Import, selecionando a opção Larstran/Shape BIN e Workpiece. O arquivo contendo os resultados é o arquivo com a extensão \*.bin, que deve ser selecionado através da janela File Open.

A seguir, apresentam-se algumas imagens de simulações realizadas no PEP/LARSTRAN, a primeira delas, Figura 23, permite visualizar a deformação equivalente sofrida durante a compressão do exemplo citado neste estudo.



**Figura 93** - Simulação computacional de uma compressão plana sem atrito

Outro recurso interessante, descrito por Hentz, é que o sistema permite visualizar, através de um gradiente de cores, a temperatura (°C) em que peça se encontra durante o processo de forjamento, além disso, na imagem da Figura 24, também verifica-se o comportamento da rebarba.



**Figura 24** - Distribuição da temperatura na peça forjada

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através deste estudo percebe-se que o sistema PEP/LARSTRAN possui recursos para prever o comportamento de diversos metais durante a conformação mecânica, porém, por tratar-se de um sistema acadêmico, ainda em desenvolvimento, exige que o usuário possua bons conhecimentos do sistema e do processo para chegar a resultados coerentes. Muitas informações podem ser inseridas no sistema, até mesmo novos comandos, ícones, barra de ferramentas, etc, mas para isso é necessário conhecimentos, também, na área de

programação com o Linux, plataforma na qual o PEP/LARSTRAN foi desenvolvido.

Uma característica bastante peculiar deste sistema, é que não é possível alterar as geometrias de forma paramétrica, ou seja, caso haja necessidade de alguma modificação na geometria das ferramentas é necessário redesenha-las, apagando a atual. Isso traz uma perda de tempo considerável, pois geralmente necessita-se fazer modificações após a simulação. Em outros sistemas isso pode ser feito de forma mais fácil e ágil se comparado com o PEP/LARSTRAN.

## 6. CONCLUSÃO

Tendo em vista os aspectos mencionados neste trabalho, observa-se que o programa propicia uma variedade de dados para a análise do processo de forjamento. Pois, pode-se variar parâmetros, a fim de encontrar a melhor combinação destes para o resultado que se deseja. Porém, é imperativo que sejam tomados alguns cuidados com os resultados obtidos para que sejam úteis e coerentes com a realidade do processo, dentre eles destacam-se os seguintes:

- Inserção de dados reais da peça que será forjada;
- Realização de ensaios para obtenção das curvas de escoamento;
- Possuir conhecimento dos recursos disponíveis no sistema;
- Compreender e interpretar os resultados obtidos com a simulação.

O uso de softwares de simulação permite redução de custo e tempo no desenvolvimento de fabricação de um novo produto, desde que tomados os cuidados citados acima. É crescente o seu uso nas indústrias do setor metal-mecânico, mesmo que o investimento inicial seja elevado, a economia trazida pela eliminação do método de “tentativa e erro” compensa a aquisição de uma ferramenta como esta.

### Referências Bibliográficas:

[1] SCHAEFFER. L. **Forjamento - Introdução ao processo**. Imprensa Livre. Porto Alegre. 2001.

[2] JARRETA. D.D.; SOUZA. E. N.; BALANCIN. O.; BARBOSA. C. A.; “**Análise Crítica Da Base De Dados De Software De Simulação Numérica Para Conformação A Quente Da Liga Vat® 718**”. Tecnologia em Metalurgia e Materiais, v.5, n.1, p. 28-34, jul. – set. 2008

[3] HENTZ. E. A.; SCHAEFFER. L.; KNOLL. P. K.; “**Influência Da Curva De Escoamento Na Simulação Computacional Do Processo De Forjamento A Quente Da Liga De Titânio Ti-6al-4v**.”Ciência & Engenharia, v. 16, n. 1/2, p. 53 - 59, jan. - dez. 2007

[4] CLOUGH, R. “**The FiniteElementMethod in Place Stress Analysis. In: Anais da 2. ConferenceonElectronicMethod. InternationalComputation.**” 1960, Pittsburgh: American Societyof Civil Engineers. p. 345-378.

[5] TURNER M.; CLOUGH, R.; MARTIN, H.; Topp, I. **StiffnessandDeflectionAnalysisofComplexStructures. JournaloftheAeronauticalSciences**, v. 23, n. 9,p. 805-821, setembro 1956.

[6] BRITO. A. M. G.; “**Análise Teórico-Experimental Dos Processos De Expansão, Redução E Inversão De Extremidades De Tubos De Parede Fina Em Matriz.**” Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PPGEM, 2006.

[7] BRAMLEYU. A.N.; MYNORS. D.J.; “**The Use Of ForgingSimulation Tools.**” Materialsand Design, v. 21, 2000, p. 279-286.

[8] FRANZKE, M.; GRUBER, B.; BARTON, G.; BEDIR, E..PEP: **User’s manual for version 3.73.** ACUT. Germany, Aachen, 2009.

[9] SCHAEFFER. L.; **Conformação Mecânica.** Editora Imprensa Livre. Porto Alegre, 2006.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e as instituições de fomento à pesquisa CNPq e CAPES pelo apoio financeiro.

## **BENEFITS OF COMPUTER SIMULATION IN THE FORGING PROCESS**

### **ABSTRACT**

The forging is characterized by a mechanical forming process widely used because his good dimensional accuracy, very little material loss and excellent mechanical properties conferred to the final product, but the definition of the optimal process is often obtained by empirical methods or through experiments conducted previously, most often based on the technique of "trial and error". Aiming cost reduction and improvement of forging processes, companies have increasingly sought help of numerical simulation software applied to the forging process. Although the initial investment was high, benefits brought by the software are readily perceived, thus justifying the initial investment. Through the use of these tools can optimize the process by reducing steps, improving the finish on final product and also to predict the final microstructure of the product is forged. The main aim of this paper was to present a case study of a simulation of forging, through the PEP/Larstran software, showing the resources available and used in system for simulation of the part in study.

Keywords: Forging, Numerical Simulation, PEP /Larstran.