

USO DE SOFTWARE CAD 3D NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DE FERRAMENTA DE DOBRA PARA FABRICAÇÃO DE PONTEIRAS DAS CATRACAS PARA A ESTAÇÃO 4 DO METRO-SP.

Marques, Angela Selau ¹
Dutra, Alexandre dos Santos ²
Schaeffer, Lírio ³

RESUMO

O desenvolvimento de ferramentas de dobra não é uma tarefa fácil, principalmente nos casos em que a peça final possui uma geometria complexa e um curto prazo de desenvolvimento do produto. Neste artigo será descrito as soluções encontradas para desenvolver e fabricar o sistema de catracas da linha 4, também conhecida como a linha Amarela do Sistema Metrô-SP. O projeto foi chamado de Catraca Bloqueio, a estrutura do equipamento foi fabricada em aço AISI 304 e a principal dificuldade encontrada foi na fabricação da ponteira, peça acoplada na parte frontal da catraca, devido a sua geometria complexa que necessitou de uma ferramenta de dobra especial. Todo projeto foi desenvolvido virtualmente no software SolidWorks antes de ser fabricado, após sua confecção a ferramenta foi testada fisicamente, desta forma foi possível ganhar tempo evitando possíveis retrabalhos.

Palavras-chave: Ferramentas de dobra, SolidWorks, perfis dobrados.

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

¹Professora do Instituto Federal Sul rio-grandense IFSul – 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

²Engenheiro de Processos da empresa Digicon. Mestrando 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. asdutra@digicon.com.br

³Prof. 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

1. INTRODUÇÃO

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. Neste estudo dar-se-á maior atenção para a operação de dobra, visto que esta é a forma utilizada na fabricação das ponteiras[1].

No dobramento, a chapa sofre uma deformação por flexão em prensas que fornecem a energia e os movimentos necessários para realizar a operação. A forma é conferida mediante o emprego de punção e matriz específicas até atingir a forma desejada. Para produções em larga escala utilizam-se estampos que são ferramentas dedicadas, porém necessitam de um alto investimento para sua confecção. Para fabricação de perfis dobrados ou alguns tipos de peças com comprimentos de dobras considerados grandes, utilizam-se prensas dobradeiras / viradeiras, com matrizes e machos (punções) universais [2]. O dobramento pode ser conseguido em uma ou mais operações, com uma ou mais peças por vez, de forma progressiva ou em operações individuais. A figura 1 demonstra esquematicamente exemplos das operações de dobramento mais comuns:

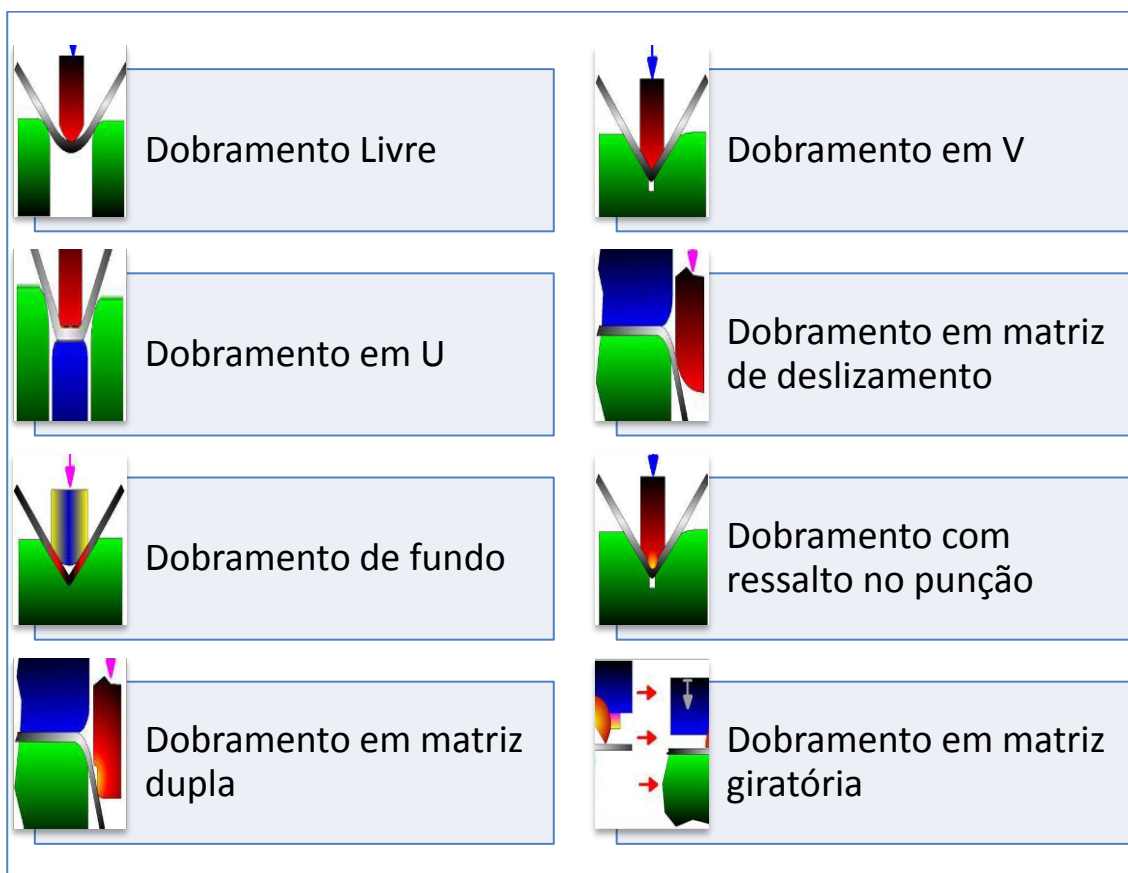


Figura 1 - Tipos de dobramentos em matrizes

Após a operação a chapa plana irá assumir a forma definida pelo punção e pela matriz. É importante prever o retorno elástico (*springback*) do material, toda peça dobrada tende a voltar à sua forma inicial. Para que a forma final da dobra fique com o ângulo previsto, o retorno elástico pode ser determinado após o dobramento através de equações matemáticas. Para fabricação de perfis dobrados, gabinetes e peças dobradas de grande porte, utilizam-se prensas dobradeiras que tornam a produção economicamente viável, a Figura 2 mostra um exemplo de máquina utilizada para dobra de chapas.



Figura 2 - Processo de dobramento à máquina

Em geral, as dobradeiras caracterizam-se por possuírem uma mesa comprida e estreita na qual é fixada a matriz e um cabeçote onde se pode instalar diversos tipos de ferramentas com geometrias diversas capazes de fabricar uma grande variedade de formas e dimensões.

O dobramento é, sobretudo, aplicado a pequenas séries de fabricação. Contudo, o estado atual de desenvolvimento das dobradeiras industriais, associado a robótica e à utilização de máquinas ferramenta complementares de apoio a produção, como por exemplo as guilhotinas, tem vindo a permitir a sua integração em linhas de produção em série. Destacam-se, a título de exemplo, a fabricação de balcões frigoríficos, de mobiliário metálico, de chassis para a indústria automobilística e agrícola, de estruturas metálicas para transportadores, entre outros [3].

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fatores que afetam o dobramento

As peças produzidas nas dobradeiras geralmente são cortadas em máquinas de corte a laser ou puncionadeiras CNC que dão o formato planificado da peça desdobrada. Na operação de dobramento deve-se levar em conta alguns fatores que são muito importantes, dentre eles destacam-se os seguintes [4]:

- a) **Capacidade elástica do material:** Quando um metal é dobrado, a sua superfície externa fica tracionada, sofrendo uma redução de espessura, e a interna, comprimida. Estas tensões aumentam a partir de uma linha neutra, chegando a valores máximos nas camadas externas e internas.
- b) **Raio interno mínimo da peça a ser dobrada:** Define-se o raio mínimo de dobra, como o menor valor admissível para o raio de modo que evite grande variação de espessura da chapa na região dobrada. Este valor é em função do alongamento que o material sofre ao ser tracionado e da espessura da chapa que está sendo dobrada.

- c) **Comprimento desenvolvido da peça:** A variação da espessura da chapa na região da dobra impede que o comprimento desenvolvido seja simplesmente a soma dos comprimentos retos e curvos da peça. Deve-se levar em conta esta variação de espessura da região dobrada, para se obter o exato comprimento da chapa que vai dar origem à peça.
- d) **As forças que atuam na operação de dobramento:** As principais forças que atuam na operação de dobramento são: força de dobramento, força de prensa-chapa e força lateral. A força de dobramento é dependente da espessura da chapa.

3. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Produto (Ferramental)

As ferramentas para dobramento geralmente são fabricadas em aço C45 (SAE-1045) ou 42CrMo4 (SAE-4140) e podem variar de 10mm até 8.000mm de comprimento, a sua geometria pode assumir os mais variados perfis de acordo com a necessidade do produto. Podem ainda receber um Tratamento Térmico Localizado (TTL) na área de maior atrito com as chapas para aumentar a sua resistência ao desgaste, a têmpera deve ser realizada apenas nos pontos de maior atrito com a chapa para evitar a probabilidade de quebras e estilhaços, o TTL aumenta de 3 a 5 vezes a vida útil da ferramenta e a dureza varia entre 50 a 54 HRC. Após o tratamento térmico, na maioria das vezes as ferramentas são retificadas para garantir as mínimas tolerâncias dimensionais. No processo de fabricação, dependendo da aplicação da ferramenta as tolerâncias de projeto podem manter uma precisão de até 0,02 mm de tolerância, além de obter superfícies com alta planicidade e baixa rugosidade. As ferramentas também podem ser intercambiáveis permitindo assim a troca rápida e a redução nos custos de fabricação. As Figuras 3 e 4 demonstram alguns exemplos de ferramentas de dobra.



Figura 3 - Perfis diversos das ferramentas de dobramento

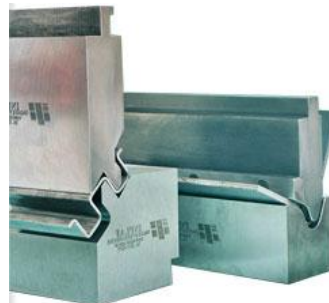


Figura 4 - Exemplo de Ferramenta de Dobra

Desenvolvimento do projeto

Utilizar o auxílio de uma ferramenta CAD 3D é de fundamental importância no desenvolvimento do projeto, pois assim é possível prever erros e identificar possíveis melhorias tanto no produto quanto na ferramenta antes mesmo da sua fabricação, com isto ganha-se tempo. Dentre as inúmeras vantagens e benefícios trazidos pelos sistemas de CAD 3D destacam-se alguns neste estudo que foram de

fundamental importância para o sucesso do desenvolvimento e fabricação das ponteiros.

O software utilizado neste desenvolvimento foi o SolidWorks, ele possui uma barra de ferramentas com recursos específicos para modelagem de chapas metálicas, conforme mostra a Figura 5. Além destes, também existem recursos nos quais se permite calcular o desenvolvimento das peças usando as tabelas para cálculos de dobra. Com estas tabelas é possível definir diferentes intervalos angulares e atribuir equações a eles.

A Figura 6 mostra um exemplo de tabela de cálculo de dobras.



Figura 5 - Recursos do SolidWorks para trabalhos com Chapas Metálicas

| | A | B | C |
|----|--------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | Tipo: | Tabela de Equações - Aço | |
| 3 | Processo | Dobragem de aço (Air Bending) | |
| 4 | Tipo de dobra: | Cálculo de dobra | |
| 5 | Unidade: | centímetros | |
| 6 | Material: | Aço | |
| 7 | Espessura do material | s | |
| 8 | Raio | r | |
| 9 | Fator K | $0.65 + 0.5 \cdot \lg(r/s)$ | |
| 10 | Ângulo de dobra | $180 - a$ | |
| 11 | | | |
| 12 | | | |
| 13 | Intervalo angular | Equação | Usar comprimento tangencial |
| 14 | | | |
| 15 | $0 \leq b \leq 90$ | $v = \pi \cdot ((180 - b) / 180) \cdot (r + ((s/2) \cdot k)) - 2 \cdot (r + s)$ | Sim |
| 16 | $90 < b \leq 165$ | $v = \pi \cdot ((180 - b) / 180) \cdot (r + ((s/2) \cdot k)) - 2 \cdot (r + s) \cdot \tan((180 - b) / 2)$ | Não |
| 17 | $165 < b \leq 180$ | $v = 0$ | Não |

Figura 6 - Exemplo de tabela de cálculo de dobras

No desenvolvimento do projeto da ferramenta das ponteiros, primeiramente foi criada a ponteira em 3D através de software SolidWorks, em seguida foi feito o desenho tridimensional de montagem desta peça na dobradeira (esta em tamanho e modelo real com relação a máquina utilizada na produção). O produto final foi colocado na máquina e a partir dele o projetista começou a criar as partes da ferramenta, de forma que aproveitasse da melhor maneira possível os espaços livres entre o produto e o corpo da máquina. A Figura 7 mostra, através de uma perspectiva 3D, o resultado final da modelagem da ponteira no SolidWorks.

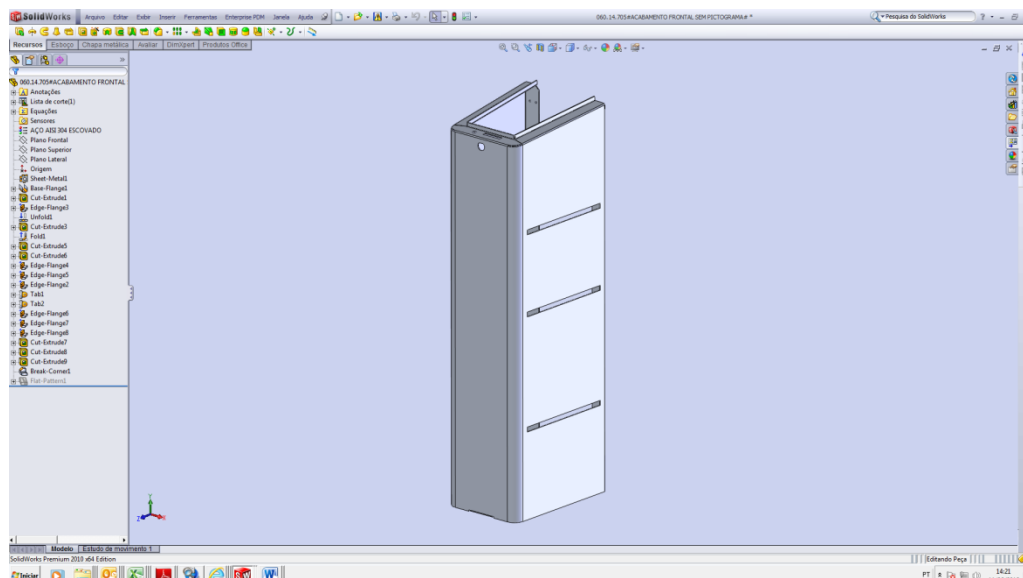


Figura 7 - Ponteira modelada no SolidWorks

No ambiente de montagem pode-se visualizar um conjunto de modelos e realizar simulações que comprovarão a funcionalidade do projeto em questão, e caso apresente alguma falha, é possível corrigir o problema antes da fabricação do modelo físico. A Figura 8 mostra uma montagem da peça e da ferramenta.

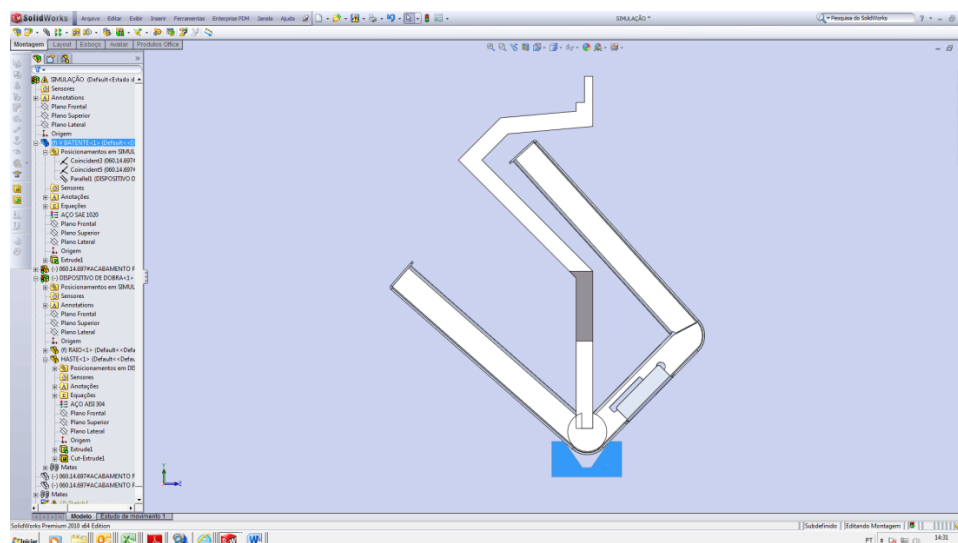


Figura 8 - Montagem da Ponteira e da ferramenta

Após definidas as medidas e a geometria necessárias para fabricação da ferramenta de dobramento, esta foi dividida em oito partes, o material utilizado na fabricação da ferramenta foi o aço SAE-1045, as partes foram cortadas, usinadas e posteriormente unidas por soldagem, por último foi feito o alívio de tensões.

Para executar o dobramento utilizou-se uma dobradeira hidráulica da marca Newton, dentre suas principais características destaca-se o fato de ela possuir um sistema sincronizado composto por servo-válvulas e réguas lineares de alta precisão comandadas por CNC (Controle Numérico Computadorizado) para permitir dobras descentradas, assim como manter o paralelismo entre prensador e mesa. Além disso, esta máquina utiliza-se das seguintes fórmulas para fazer a o cálculo de

dobra, ou seja, informa-se para a máquina alguns dados e ela automaticamente calcula a força de dobra:

⇒ Para se calcular a força de dobra necessária por metro (F – ton/m):

$$F = \{[1 + (4 \cdot S / V)] \cdot S^2 \cdot R \cdot L\} / V$$

Onde:

- **F = Força de dobra (ton/m);**
S = Espessura da chapa (mm);
V = Abertura do canal de dobra (mm);
R = Limite de resistência do material ou Tensão de Ruptura (kgf/mm²);
L = Comprimento da dobra (m).

⇒ Para se calcular o Raio Interno (Ri – mm) conhecendo o “V”

$$Ri = V / 6$$

Onde:

- **V = Abertura do canal de dobra (mm);**
Ri = Limite de resistência do material

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a fabricação da ferramenta, durante o *try-out*, foram identificados alguns pontos que poderiam ser melhorados, tais como:

- O primeiro ponto foi devido à própria geometria da ferramenta, onde a área de alívio acabava funcionando como uma mola e exigindo um esforço desnecessário da máquina.
- O segundo ponto foi em função do primeiro, aonde se chegou à conclusão que a ferramenta poderia ao longo do tempo sofrer deformações permanentes, caso não fosse estruturada.

Em função disso o projeto sofreu uma revisão a fim de evitar problemas futuros, tais como peças defeituosas, quebra ou deformação da ferramenta, desgaste desnecessário da máquina e segurança do operador mediante uma possível quebra da ferramenta. A solução encontrada pelos projetistas foi de reforçar os topos do ferramental e colocar uma sequencia de quatro mãos francesas na parte posterior deste, como pode ser visto na Figura 9.

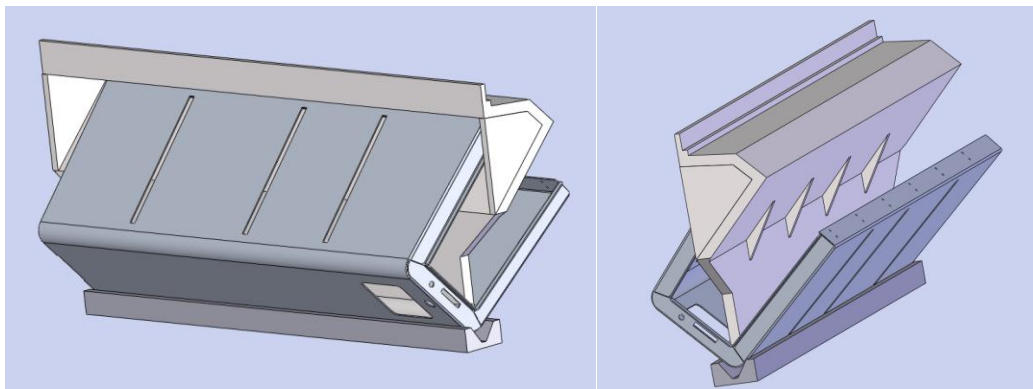


Figura 9 - Correção dos pontos de falha

5. CONCLUSÃO

O trabalho apresentado foi fruto de um projeto bem sucedido onde o uso do software foi fundamental para o sucesso do produto final. Apesar de duas pequenas alterações para reforço da ferramenta o resultado do produto desenvolvido no software comparado com o produto físico foi realmente melhor do que o esperado inicialmente, atendendo aos requisitos técnicos e comerciais de sua fabricação. Na figura 10 pode ser visto a ferramenta depois de fabricada e pronta para uso.



Figura 10 - Ferramenta de dobramento para Ponteira da Catraca Bloqueio

As tolerâncias trabalhadas durante a produção das ponteiras foram na casa dos décimos de milímetro conforme as solicitações do desenho de produto, mostrando que o ferramental desenvolvido pela equipe é confiável. Para trabalhos futuros seria interessante reduzir peso no ferramental através da diminuição da espessura da chapa estrutural da ferramenta de dobra, ou até mesmo a abertura de “janelas”, porém sempre utilizando a simulação para tentar otimizar o fator resistência x peso, tendo visto que para uma produção em larga escala o peso excessivo da ferramenta acarretaria em desgaste prematuro da máquina diminuindo sua vida útil e aumentando os custos de manutenção.

A Figura 11, à esquerda, mostra imagens das catracas durante sua instalação e na sequencia a direita, depois de instaladas sendo utilizadas pela população.



Figura 11 - Produto final (Inauguração Estação Pinheiros do Metrô- SP)

3D CAD SOFTWARE DEVELOPMENT TOOL DESIGN FOR MANUFACTURE OF BENDING OF TURNSTILES TIPS FOR SEASON 4 OF METRO SYSTEM LINE 4 IN SÃO PAULO.

ABSTRACT

The development of bending tools is not an easy task, especially in cases where the end piece has a complex geometry and there is a short deadline for the product development. In this article will be described the solutions found to develop and manufacture the turnstile system of Metro System line 4 in São Paulo, also known as yellow line. The project called Turnstile Lock was developed by Digicom. The equipment structure was made of steel AISI 304 and the main difficulty found, was in manufacturing the tip part, which is attached at the front part of the turnstile, due to its complex geometry, which required a special bending tool. All the project was developed virtually on Solid Works software, then manufactured and tested physically, gaining time and avoiding repeated work.

Keywords: Bending Tools, SolidWorks, Profiles bent.

REFERÊNCIAS

[1] SILVEIRA. F.D.; SCHAEFFER. L.; **Diretrizes para projeto de ferramenta de estampagem**. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ldTM/publicacoes/Diretrizesparte1.pdf> Acesso em: 18/08/2012.

[2] MARCONDES, P.V.P.; **Manufatura de chapas metálicas - Dobramento**. Disponível em: ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM729/Artigos/Edicao25_Art_Tec_UFPR_PauloMarcondes_Dobramento_Versao01.pdf Acesso em: 18/08/2012.

[3] CHIAVERINI, Vicente; **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento**, 2 ed., São Paulo: McGraw-Hill, 1986

[4] SCHAEFFER, L.; **Conformação de Chapas Metálicas**. Imprensa Livre, Porto Alegre, 2004.

[5] CETLIN, P. R.; HELMAN, H. **Fundamentos da Conformação**. Editora Artliber, São Paulo, 2005.

Agradecimentos

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