

# ESTUDO PARA REDUÇÃO DAS DIMENSÕES DO BLANK NA ESTAMPAGEM DO CORPO DE COMPRESSORES HERMÉTICOS<sup>1</sup>

Ivan Marcelo Trapp<sup>2</sup>  
Leonidas Cayo Mamani Gilapa<sup>3</sup>  
Carlos Augusto Silva de Oliveira<sup>4</sup>

## Resumo

O grande volume de produção de compressores pela EMBRACO (Empresa Brasileira de Compressores S.A), e em especial do modelo “EG”, e o custo elevado do aço torna significativo, estudos para redução no consumo de material do “blank”. Atualmente, são produzidos em torno de 720.000 destes compressores por mês, sendo 60% para o mercado de exportação e 40% para o mercado interno. A partir destes fatos foram realizados estudos com o objetivo de analisar e avaliar a redução da largura do “blank” utilizado na confecção do corpo do compressor hermético “EG”. Neste estudo foram analisadas a estampabilidade da tira de aço utilizada, através da curva limite de conformação e determinadas as frentes máximas de deformação para os quatro primeiros estágios de estampagem, que correspondem as etapas de repuxo. As frentes máximas de deformação foram obtidas tanto para os “blanks” atualmente utilizados como para os de largura reduzida. Na estampagem dos corpos dos compressores com “blanks” de largura reduzida foram realizadas as seguintes alterações no processo industrial: centralização do material na ferramenta de estampagem, ajuste do prensa chapa, redução e centralização da guia de entrada do material. O efeito da redução da largura do “blank” nas dimensões finais do corpo do compressor foi avaliado por um “escaneamento” interno e externo do produto, utilizando um “scanner” óptico. Como resultado obteve-se uma redução da largura da tira de aço de 4mm e uma redução no consumo da matéria prima em torno de 1,15%.

**Palavras-chave:** Estampagem; Corpo de compressores; Redução da dimensão do blank.

## AN STUDY FOR DECREASING THE BLANK DIMENSIONS OF “EG” MODEL COMPRESSOR BODY

### Abstract

EMBRACO currently produces around 720.000 “EG” model compressors for month, being 60% for exportation and 40% for the domestic market. Because of the great production volume any decreasing in blank dimension represents significant cost reduction. This study aimed about the blank width reduction of “EG” model air tight compressors. This study analyzed and evaluated the reduction of the blank dimension currently used by forming limits diagram and maximum deformations areas in the first to fourth steps of pressing. For industrial test the following alterations had been used: centralization of the material in the tool of stamping, adjustment of the press plate, reduction and centralization of the guide of entrance of the material. As result will have a 4mm reduction on the width of the steel ribbon and a reduction in the consumption around 1,15%.

**Key words:** Forming; Blank dimensions; Compressor body

<sup>1</sup> Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

<sup>2</sup> Tecnólogo em Manufatura, Embraco; e-mail: [Ivan\\_m\\_trapp@embraco.com.br](mailto:Ivan_m_trapp@embraco.com.br)

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia, Professor Sociesc, email: [leonidas@sociesc.com.br](mailto:leonidas@sociesc.com.br)

<sup>4</sup> DSc, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, e-mail: [carlosa@emc.ufsc.br](mailto:carlosa@emc.ufsc.br).

## 1 INTRODUÇÃO

A EMBRACO, Empresa Brasileira de Compressores S.A. é a maior produtora mundial de compressores para utilização em eletro domésticos, como por exemplo, geladeiras. Entre os diversos modelos fabricados, o de maior produção é o “EG” com cerca de 720.000 unidades por mês. O corpo (carcaça) deste compressor é produzido por estampagem em prensas com ferramenta progressiva de nove estágios, sendo que os quatro estágios iniciais são de repuxo, onde ocorre uma pré-conformação das dimensões externas e da altura total do componente desejado. Os estágios intermediários são de calibração para adequar suas dimensões ao projeto e os estágios finais são utilizados para realizar as furações do produto. O corpo do compressor é confeccionado a partir de um “blank” de aço de baixo carbono, laminado a quente, com 3mm de espessura e 348mm de largura.

Nas operações industriais de conformação do corpo do compressor, ocorrem deformações no material que alteram a espessura da tira. Esta variação depende fortemente da geometria da ferramenta, especialmente da forma do punção, raio da matriz e lubrificação.<sup>(1,2)</sup> O controle da espessura da tira através de modificações feitas nas ferramentas é bastante limitado em razão da geometria final da peça que se deseja obter. Outro aspecto a ser considerado em qualquer modificação que se queira introduzir no processo é a avaliação do comportamento do material e como estas modificações alteraram o campo de deformações na estampagem.<sup>(3)</sup>

Uma possibilidade de avaliação do comportamento do material, ou sua conformabilidade, é através das Curvas Limites de Conformação (CLC). Estas curvas permitem analisar as deformações nas tiras metálicas, servindo de auxílio nas investigações e melhorias dos processos de estampagem. A CLC se revela particularmente útil quando aliada à determinação da frente máxima de deformação (deformação máxima em cada etapa do processo industrial de estampagem). A comparação da frente máxima de deformação com a CLC permite identificar a viabilidade do processo. A existência de regiões com valores de deformações que superam os fornecidos pela CLC indica falha na estampagem.

Devido ao grande volume de produção do compressor modelo “EG” e do custo elevado do aço qualquer redução no consumo de material se torna significativo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi o de analisar e avaliar a redução da largura do “blank”, atualmente, utilizado na confecção do corpo do compressor hermético “EG”. A redução estudada foi de 4mm na largura do blank, ou seja, de 348 para 344mm.

Para verificar a possibilidade desta redução foram avaliadas a estampabilidade da tira de aço utilizada, através da curva limite de conformação na região de estiramento e determinadas as frentes máximas de deformação para as duas dimensões do “blank” e para os quatro primeiros estágios de estampagem, que correspondem as etapas de estiramento.

O efeito da redução da largura do “blank” nas dimensões finais do corpo do compressor foi avaliado por um “escaneamento” interno e externo do produto, utilizando um “scanner” óptico. Como teste complementar para aprovação das novas dimensões do “blank” foi realizado um ensaio de nível de intensidade sonora. Este ensaio não foi mostrado neste trabalho, mas é importante para a aprovação das alterações.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado foi uma tira laminada a quente de aço de baixo carbono, acalmado ao alumínio e com pequenas adições de boro. A tira tinha espessura de 3mm, a dureza média foi de 53HRb e rugosidade, Ra, de 0,91 $\mu$ m. A sua composição química é mostrada na Tabela 1. A espessura de 3mm e a adição de boro melhoram a absorção do ruído do compressor, aspecto muito importante nestes equipamentos.

**Tabela 1.** Composição química do aço utilizado.

<b>Carbono</b>	<b>Manganês</b>	<b>Fósforo</b>	<b>Enxofre</b>	<b>Alumínio</b>	<b>Boro</b>
<b>0,035</b>	<b>0,18</b>	<b>0,015</b>	<b>0,011</b>	<b>0,037</b>	<b>0,0019</b>

Para determinação da CLC foi utilizado o ensaio Nakazima<sup>(4)</sup> aplicado a corpos de prova retangulares com comprimento de 215mm e larguras que variaram de 215 até 155mm em intervalos de 20 mm. Foi utilizado um número reduzido de corpos de prova devido a se desejar obter a CLC somente na região de tração – tração, ou seja; na região referente ao processo de estiramento. O procedimento é descrito abaixo:

Inicialmente, foram marcadas nos corpos de prova uma grade de círculos com 2 mm de diâmetro através de processo de serigrafia. Este processo foi utilizado devido à simplicidade, rapidez e baixo custo.

A conformação das tiras foi realizada utilizando uma máquina universal de ensaios (ZDM U 30t) adaptada. Nesta, um punção esférico é fixado na parte superior e a chapa metálica é presa entre a matriz e o prensa-chapa por um anel de fixação, na mesa inferior. O deslocamento da mesa inferior em direção ao punção provoca a sua deformação. O início da estrição é indicativo do final do processo.

Após a estampagem das tiras foram realizadas as medições dos círculos próximos a região de falha. Para tal, foram utilizados pedaços de papel milimetrado colados com “*contact*” junto às regiões, para servir como escala. Em seguida, foram retiradas fotografias destas regiões. A medição das deformações principais foi realizada em quatro círculos, sendo que dois apresentavam estrição e dois próximos a estes, sem falhas. Devido as deformações dos círculos com estrição serem substancialmente diferentes dos outros, optou-se por traçar a CLC a partir dos pontos medidos na região sem falha. Em cada um destes círculos foram calculados os pares de deformação principal ( $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ).

A CLC, na região de estiramento, foi traçada usando uma linha reta calculada por mínimos quadrados.

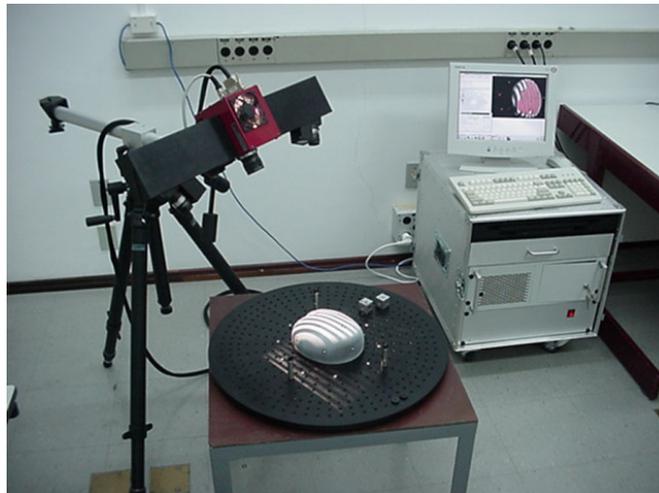
As deformações máximas nas regiões críticas de cada estágio do processo de estiramento do corpo do compressor modelo “EG”, ou seja, as frentes máximas de deformação foram determinadas para os quatro primeiros estágios de estampagem, com a utilização de “blanks” de 348 e 344mm de largura. O procedimento adotado foi semelhante ao da determinação da CLC.

A conformação dos “blanks” foi realizada numa prensa hidráulica de 1200 t, localizada no parque fabril da EMBRACO, que é utilizada industrialmente na fabricação do corpo do compressor. Em cada estágio de estiramento foram retirados os esboços e realizadas as medições dos círculos nas regiões de maior deformação. Nas medições dos círculos foram utilizados os mesmos procedimentos adotados para a determinação da CLC. Os valores das frentes máximas de deformação foram comparados com a CLC.

Após a determinação da CLC e das frentes máximas de deformação foram realizados testes industriais de estampagem do corpo do compressor com o “blank” de 344mm. Nos testes industriais e na determinação das frentes máximas de deformação foram feitas alterações na centralização do material na ferramenta de estampagem, no ajuste do prensa chapas e redução e centralização da guia de entrada do material. A força aplicada no prensa chapas, os diversos estágios da ferramenta e a lubrificação permaneceram inalterados.

A avaliação do efeito da redução da largura do “blank” nas dimensões finais do corpo do compressor foi feita através de “escaneamento” interno e externo do produto. Para tal, foi utilizado um “scanner” óptico, cujo procedimento experimental é descrito a seguir:

Inicialmente, o corpo do compressor é todo pintado com spray de tinta branca e são feitas marcações em preto na superfície pintada que são utilizadas como identificadores. A seguir, são projetadas faixas de luz branca sobre a superfície da peça e fotografadas as diversas regiões. Um software converte estas fotos em sólido 3D. A Figura 1 mostra o aparato para realização do ensaio. Os resultados dimensionais obtidos foram comparados com os do desenho do produto.



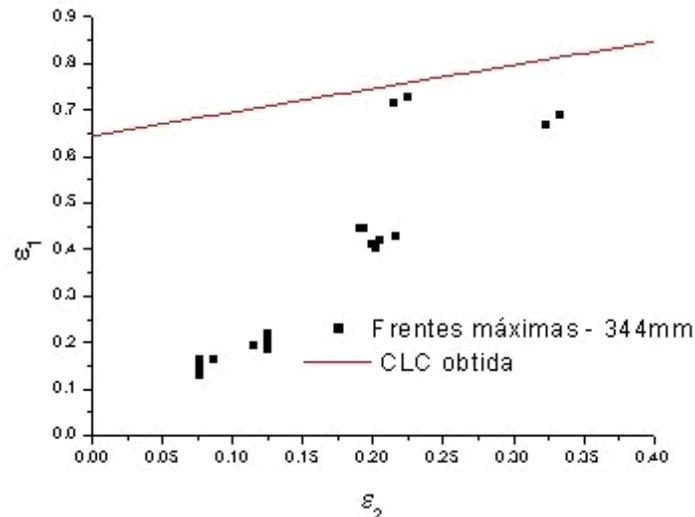
**Figura 1.** Ensaio de “escaneamento” para medição da superfície.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

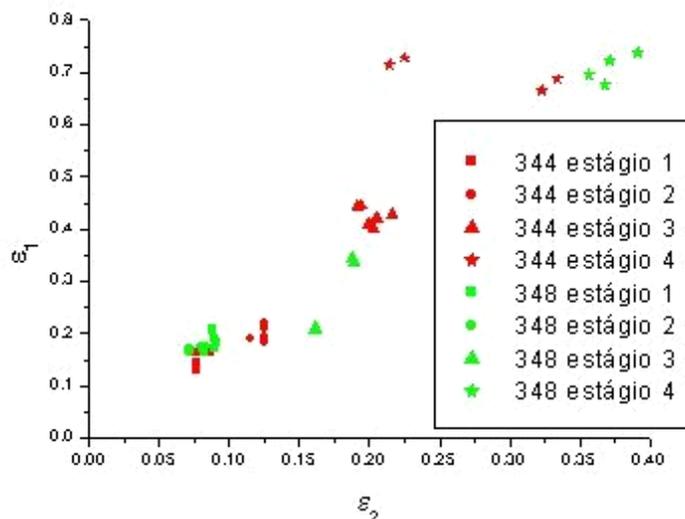
A Figura 2 mostra a curva limite de conformação para o aço estudado e a frente máxima de deformação para o “blank” de 344mm dos quatro estágios de estiramento. A Figura 3 mostra um comparativo entre as frentes máximas de deformação obtidas para os “blanks” de 348 e 344mm de largura. Pode-se observar pelas Figuras 2 e 3 que todos os pontos de deformação máxima situam-se abaixo da curva limite de conformação do material e que as deformação máximas vão se aproximando da curva a medida que os estágios de estiramento vão ocorrendo. Há um aumento aproximadamente linear das deformações principais ( $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ) com a seqüência de estágios, com exceção de 2 pontos medidos no quarto estágio de estiramento do “blank” de 344mm. Exceto estes, os outros pontos de deformação máxima não apresentaram diferenças significativas entre os “blanks” de diferentes dimensões.

Os pontos de deformação máxima, como pode ser observado, se encontram abaixo da curva CLC indicando que o processo é viável e que não haverá problema com a estampagem do “blank” de 344mm.

Existem diversos fatores que podem estar associados com as variações encontradas na frente máxima de deformação do quarto estágio de conformação, como: dificuldade de controlar as deformações finais do esboço, variação de lubrificação, escolha dos círculos a serem medidos, entre outros.<sup>(5)</sup> Neste caso, parece que a dispersão dos resultados é devida principalmente as diferenças de deformações próximas ao círculo de máxima deformação. Outros autores também observaram este comportamento.<sup>(6-9)</sup>



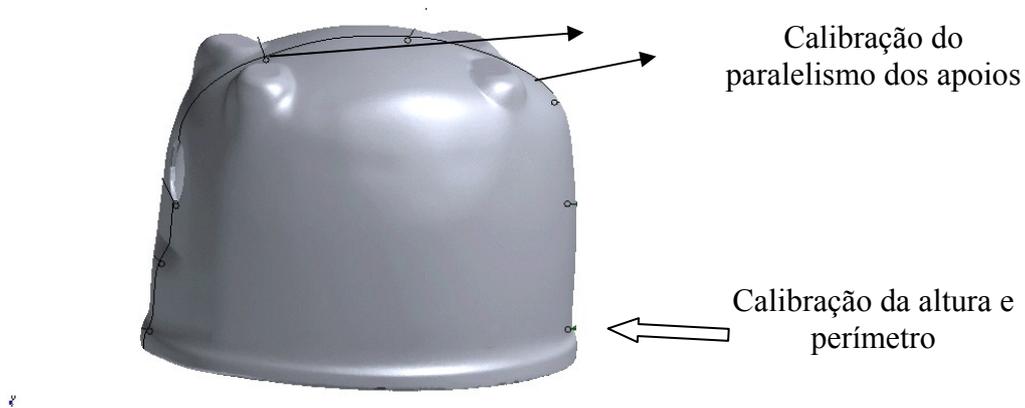
**Figura 2.** Curva limite de conformação para o aço estudado e frente máxima de deformação para o “blank” de 344mm de largura dos quatro estágios de estiramento



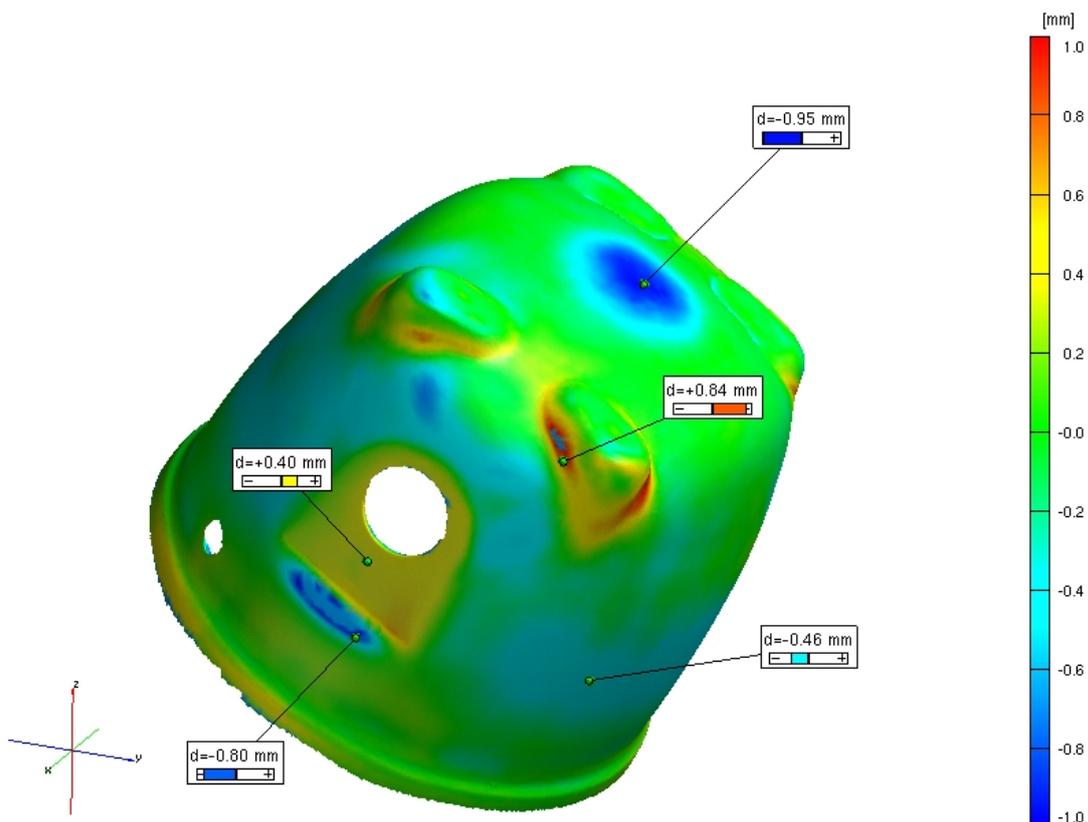
**Figura 3.** Comparação entre as frentes máximas de deformação para os “blanks” de 348 e 344mm de largura.

Os resultados das Figuras 2 e 3 sugerem que não houve diferença significativa entre as espessuras dos corpos do compressor estampados com as duas larguras dos “blanks” devido aos campos de deformação no plano das tiras serem aproximadamente iguais. Entretanto, a variação da espessura é um aspecto importante na análise do produto, pois poderá afetar o nível de ruído deste em funcionamento, havendo necessidade de uma análise mais detalhada.

Para uma análise mais detalhada das dimensões finais do corpo foi realizado o “escaneamento” interno e externo do produto. Os locais de medição das dimensões importantes para calibração são mostrados na Figura 4. As Figuras 5 e 6 mostram as variações dimensionais em todo o corpo do compressor e nas regiões de calibração, respectivamente.



**Figura 4.** Locais de medição das dimensões importantes para calibração do corpo do compressor.



**Figura 5.** Variações dimensionais em todo o corpo do compressor.

Pode-se observar pela Figura 6 que as dimensões nos pontos de calibração se encontraram entre 3,69 e 2,91mm. Comparando-se estes resultados com os do desenho do produto verificou-se que não houve variação dimensional sensível entre ambos.

Os resultados obtidos permitiram prever que não haveria nenhuma variação do produto atual com o proposto. Finalmente, como teste complementar para

aprovação das novas dimensões do “blank” foi realizado um ensaio de nível de intensidade sonora. Este ensaio não foi mostrado neste trabalho, mas é importante para a aprovação das alterações. Os resultados coincidiram com os do produto atual e estão dentro das especificações do projeto.

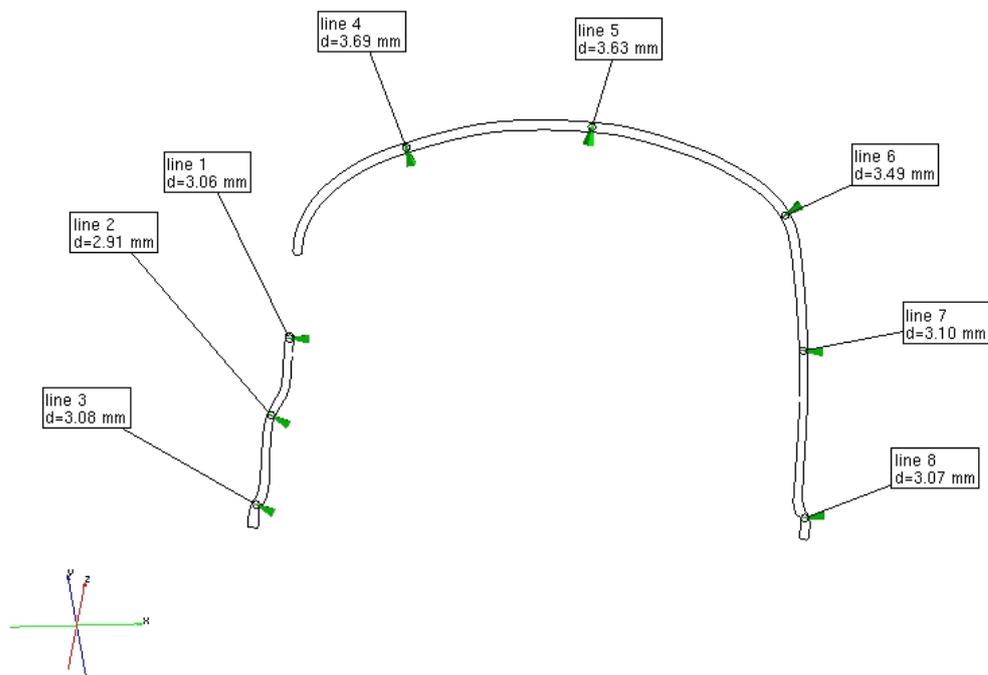


Figura 6. Variações dimensionais nas regiões de calibração.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nos testes práticos permitiram realizar uma rápida análise comparativa do produto atual com as do produto proposto e possibilitou a mudança nas dimensões do “blank” no processo de fabricação de 348 para 344mm.

A utilização do “blank” de 344mm reduziu o consumo da matéria prima em torno de 1,15%.

As únicas alterações necessárias para se produzir industrialmente o corpo do compressor modelo “EG” com largura de “blank” reduzida foram: uma nova centralização do material na ferramenta de estampagem, um novo ajuste do prensa chapa e uma redução e centralização da guia de entrada do material.

Todos os pontos de deformação máxima situaram-se abaixo da CLC do material, indicando que o processo é viável.

As deformações máximas vão se aproximando da CLC a medida que os estágios de estiramento vão ocorrendo. Há um aumento aproximadamente linear das deformações principais ( $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ ) com a seqüência de estágios, com exceção de 2 pontos medidos no quarto estágio de estiramento do “blank” de 344mm.

Os pontos de deformação máxima não apresentaram diferenças significativas entre os “blanks” de diferentes dimensões, com exceção de 2 pontos medidos no quarto estágio de estiramento do “blank” de 344mm.

O aumento das deformações com os estágios de conformação mostraram que as deformações mais críticas se encontram no quarto estágio de processamento.

## **Agradecimentos**

Os autores gostariam agradecer a EMBRACO por permitir realizar o trabalho nas suas instalações fabris e pelo aporte financeiro.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 EVANGELISTA, S.H. **Diagramas de Limite de Conformação Aplicados a Análise por Elementos Finitos de um Processo de estampagem em Chapas Metálicas**, dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Paulo, 2000
- 2 BENEDETTI P, INSAUSTI J., TRAVERSA P., IURMAN L., LUCAIOLI A., MAZINI N., **Comparación del Adelgazamiento de Pared en Ensayos Swift con Punzón Plano y Semiesférico**, Anales SAM 1999.
- 3 LOBÃO, M.C. **Determinação de Curvas Limite de Conformação por Procedimentos Experimentais e Simulação Numérica do Processo de Estampagem**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina – SC, 2003.
- 4 NAKAZIMA, K.; KIKUMA, T.; HASUKA, K.; **Study on the Formability of Steel Sheets**; Yawata Technical Report; p. 111-141; Setembro 1968.
- 5 LOBÃO, M.C.; BOLSI, J.; FANCELLO, E.A.; OLIVEIRA, C.A.S.; **Determinação da Estampabilidade de Aços por Procedimentos Experimentais e Simulação Numérica do Processo de Estampagem**; 41º Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos, p. 263-272; 2004;
- 6 GOODWIN, G. M.; **Application of Strain Analysis to Sheet Metal Forming Problems in the Press Shop**; La Metallurgia Italiana 8; p. 767-774; 1968.
- 7 KEELER, S. P.; **Properties Related to Forming; Sheet Metal Industries; Understanding Sheet Metal Formability III**; p. 511-517; 1971.
- 8 RENÓ, R. T.; **Conformabilidade e Textura de Chapas Finas a Frio de Aço Acalmado ao Alumínio**; São Paulo. Dissertação de Mestrado; EPUSP; 1985.
- 9 NEWBY, J. R.; **Formability of Steel Sheet; Metals Handbook; Forming and Forging**; 9ª edição; vol. 14; p. 545-560; 1988;