

## CONSTRUÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA: LAMINADOR

**Resumo:** *O desenvolvimento de processos de fabricação para conformar peças metálicas e que atendam as expectativas atuais da indústria referentes à velocidade da produção, qualidade do acabamento do produto final, além de custo benefício dos processos de fabricação, são de grande interesse das empresas deste segmento. A laminação é conjunto de processos em que se faz o material passar através da abertura entre cilindros que giram, reduzindo a seção transversal. Os produtos podem ser placas, chapas, barras de diferentes seções, trilhos, perfis diversos, anéis e tubos. Ainda, devido à uniformidade da produção, possui um baixo custo de controle gestão de qualidade no produto final. Dessa forma, este trabalho pretende consolidar e aplicar os conhecimentos obtidos em sala de aula referentes ao processo de conformação plástica, com a construção de um protótipo de laminador.*

**Palavras-Chave:** *Laminação. Conformação plástica. Processo de fabricação.*

### 1 INTRODUÇÃO

Os processos de conformação mecânica são aqueles que alteram a geometria do material (forma) por deformação plástica, através de forças aplicadas por ferramentas adequadas, que podem variar desde pequenas matrizes até grandes cilindros.

As vantagens deste processo são muitas: bom aproveitamento da matéria; rapidez na execução; possibilidade de controle das propriedades mecânicas; e possibilidade de grande precisão e tolerância dimensional. É importante observar, entretanto, que o ferramental e os equipamentos possuem um custo muito elevado, exigindo grandes produções para justificar o processo economicamente. Existem algumas centenas de processos unitários de conformação mecânica, desenvolvidos para aplicações específicas. Mas é possível classificá-los num pequeno número de categorias, com base em critérios tais como: o tipo de esforço, deformação do material, variação relativa da espessura da peça, o regime da operação de conformação e o propósito da deformação (Cetlin & Helman, 2005).

A laminação é um processo de transformação mecânica que consiste na redução da seção transversal por compressão do metal, por meio da passagem entre dois cilindros de aço ou ferro fundido com eixos paralelos que giram em torno de si mesmos. Esta seção transversal é retangular e refere-se a produtos laminados planos de alumínio e suas ligas, compreendendo desde chapas grossas com espessuras de 150 mm, usadas em usinas atômicas, até folhas com espessura de 0,005 mm, usadas em condensadores. Existem dois processos tradicionais de laminação de alumínio: laminação a quente e laminação a frio. Atualmente, a indústria também utiliza-se da laminação contínua (Martins, 1993).

O trabalho tem o objetivo de construir um laminador de fácil manipulação, simples estrutura e baixo custo, capaz de laminar materiais não ferrosos e que possa servir de modelo para futuras reproduções em outros lugares, como em laboratórios de pesquisa em universidades.

## 2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

O protótipo foi confeccionado com seu corpo totalmente em liga de aço, sendo robusto e capaz de laminar outras ligas metálicas mais dúcteis, não motorizado: é utilizada uma alavanca manual para sua movimentação.

Os materiais e equipamentos usados para fabricação do laminador foram os seguintes:

### 2.1 Esmerilhadeira e Grampo Tipo C

Foram utilizadas a esmerilhadeira de marca Bosch, e grampo tipo C (Figuras 1(a) e (b)).

Figura 1: Esmerilhadeira (a) e Grampo (b).



(a)



(b)

Fonte: Palacio das ferramentas, 2019.

### 2.2 Furadeira de Coluna e Torno Universal

Foram utilizados uma furadeira de coluna (Figura 2.a) de marca Fundoya e o torno universal (Figura 2.b) de marca Tormax.

Figura 2: Furadeira de coluna (a) e Torno (b).



(a)



(b)

Fonte: Autoria Própria.

### 2.3 Máquina de Solda e Chapa de Aço

Usadas para fazer a soldagem (Figura 3) das peças e a chapa de aço de 55mm por 400mm para fixar a estrutura da base.

Figura 3: Máquina de Solda.



Fonte: Zaffa, 2019.

#### 2.4 Pino de Biela e Barra redonda

Pino de biela (Figura 4) de diâmetro de 54mm e altura de 120mm e a barra redonda de diâmetro 21,5mm.

Figura 4: Pino de Biela.



Fonte: Autorial Própria, 2019.

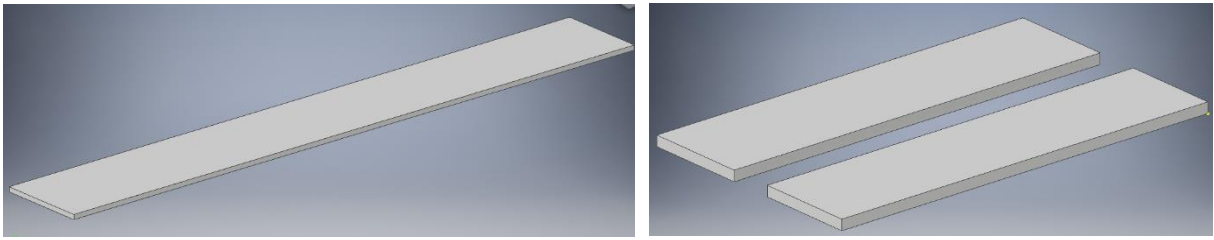
### 3 MÉTODOS

Inicialmente foi idealizado um modelo de laminador, de modo que tivesse uma simples construção e baixo custo, para que pudesse servir de modelo para futuras reproduções em outros lugares, como em laboratórios de pesquisa em universidades. Todos os materiais utilizados na construção do laminador foram obtidos em oficinas e sucatas, reaproveitados de outros equipamentos: os rolos foram aproveitados de pinos dos pistões de caminhões antigos, bem como a engrenagem, oriunda de um antigo motor; o suporte e a manivela são oriundos de uma barra de aço que foram soldadas e moldadas em nova geometria. A construção foi feita por uma empresa parceira (Torneadora Dantas).

O primeiro passo foi preparar as chapas laterais que sustentam os rolos do laminador e para isso cortou-se a chapa de aço ao meio com uma esmerilhadeira, resultando em duas chapas de tamanhos iguais de 55x200mm.



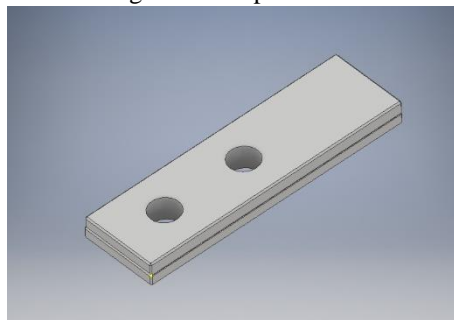
Figura 5: Chapa inteira (a) e Chapa cortada (b).



Fonte: Autoria Própria.

Em seguida foram feitos furos com brocas de 22mm, de modo que na montagem final os dois rolos do laminador que vão se acoplar nos furos ficassem paralelos, tendo em toda a extensão dos rolos distâncias iguais entre si, de 4mm. Para isso foi colocada uma chapa sobre a outra, fixadas com um grampo tipo C e levadas à furadeira de coluna para obtenção dos dois furos iguais em cada chapa, como ilustra a Figura 3.

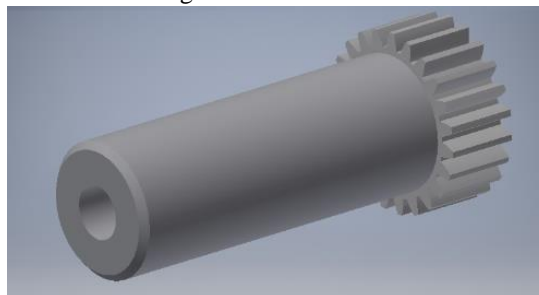
Figura 6: Chapa com os furos



Fonte: Autoria Própria.

A próxima etapa foi centralizar o rolo com a engrenagem. Para isso ser possível foi utilizado um torno universal. O rolo de diâmetro de 54mm foi fixado no cabeçote fixo do torno e a rotação do mesmo foi acionada para verificação da centralização do rolo. Logo em seguida utilizou-se o cabeçote móvel para fixar a engrenagem (diâmetro externo de 62,5mm e 18 dentes) e encostá-la no rolo, e em seguida foi acionada a rotação novamente para a verificação do alinhamento do rolo com a engrenagem. Feitos todos os ajustes necessários para as duas peças ficarem alinhadas, rolo e engrenagem, foi utilizado o processo de soldagem com eletrodo revestido para união das duas peças, e foi repetido todo esse processo com outro par de rolo e engrenagem.

Figura 7: Modelos dos rolos

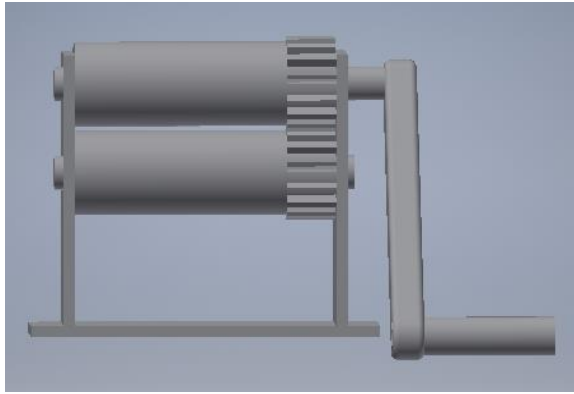


Fonte: Autoria Própria.

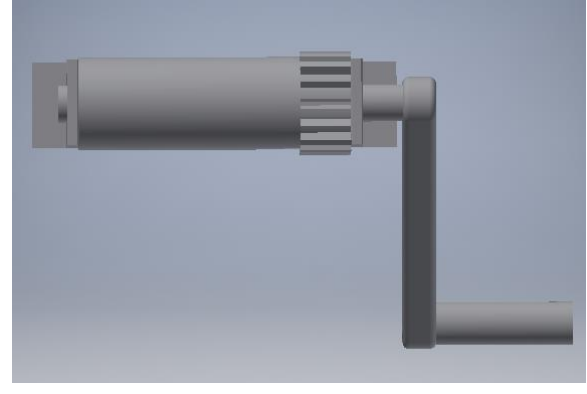
Tendo esses componentes sido feitos, o próximo passo foi realizar a montagem, onde optou-se em soldar todas as partes para formar a estrutura, exceto pela parte móvel. Dessa forma, os dois rolos-engrenagem foram atravessados por uma barra redonda e chavetados para

girar juntos com a barra. Essa barra redonda ultrapassa o laminador para fora, sustentando assim os rolos, e por último foi soldado o braço do laminador em um dos rolos e o movimento é transmitido para o outro rolo através das engrenagens que se mantêm em contato, conforme mostra a Figura 8 ((a), (b) e (c)).

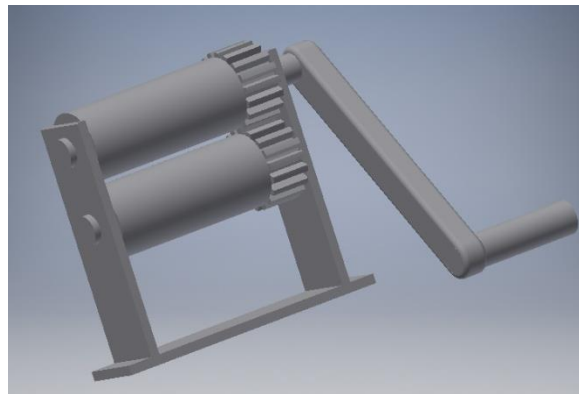
Figura 8: Vista frontal (a), Vista superior (b) e Vista isométrica (c).



(a)



(b)



(c)

Fonte: Autoria Própria

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após construído, o conjunto pesou cerca de 10Kg, suficiente para ser colocado em cima de uma bancada de trabalho, com transporte relativamente fácil. Os dados técnicos dele se encontram na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Dados Técnicos do Laminador Pronto

Diâmetro dos rolos	60mm
Espaçamento entre os rolos	5mm
Largura	240mm
Altura	251,78mm
Largura dos dentes das engrenagens	40mm
Altura dos dentes das engrenagens	12,13mm

Fonte: Autoria Própria

Para validação do laminador construído, realizou-se ensaio em uma chapa de liga de alumínio. Antes do ensaio, foram feitos os cálculos para esse tipo de operação:

O coeficiente de atrito entre o Alumínio e o Aço é de aproximadamente 0.61, então, calculando-se a variação de altura máxima ( $\Delta h$ ), tem-se:

$$\Delta h = \mu^2 \cdot R \rightarrow 0.61^2 \cdot 30 = 11.163 \text{ mm}$$

Porém, para melhorar a precisão do processo, utilizou-se  $\Delta h = 3 \text{ mm}$ , portanto, o comprimento do arco de contato ( $L$ ) será:

$$L = \sqrt{R \cdot \Delta h} = \sqrt{30 \cdot 3} = 9.487 \text{ mm}$$

Calculando agora o ângulo de contato ( $\alpha$ ):

$$\text{Sen} \alpha = \sqrt{\Delta h / R} = \sqrt{3 / 30} \rightarrow \alpha = 18.43^\circ$$

Como a  $Tg \alpha = 0.3333 < \mu$ , a condição de mordida pelos cilindros será satisfeita. Da mesma forma, a condição de arrastamento também será satisfeita, pois:  $\mu > Tg(\alpha/2)$ .

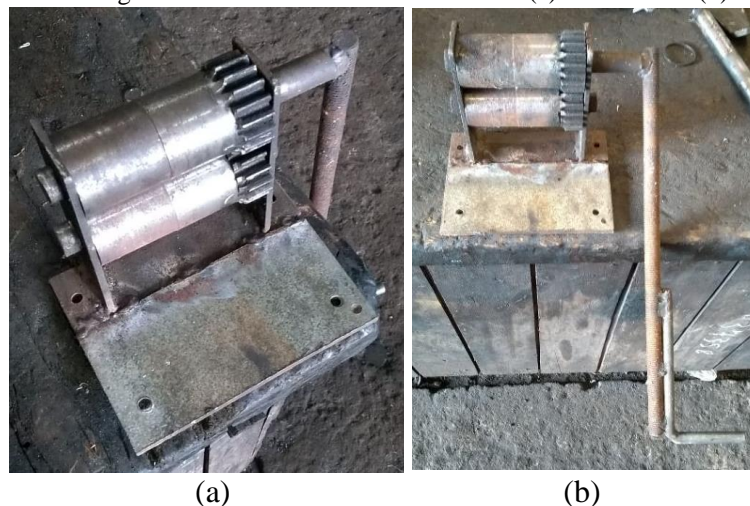
No que diz respeito às velocidades da chapa e da velocidade periférica, o ângulo neutro é de suma importância, e por isso seu valor será calculado usando a seguinte expressão matemática:

$$\text{Sen} \alpha_m = (\mu \cdot \text{Sen} \alpha + \text{Cos} \alpha - 1) / 2 \cdot \mu$$

Substituindo os valores, tem-se um ângulo neutro de aproximadamente  $\alpha_m = 6.66^\circ$ .

Em sua apresentação, o laminador se mostrou eficiente em executar a tarefa à qual foi construído, e o resultado final do processo apresentado em todas as amostras satisfaz as expectativas do projeto, como ilustra a figura 9.

Figura 9: Vista isométrica do laminador (a) e laminador (b)



Fonte: Autoria Própria.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto teve um excelente aproveitamento geral. O desenvolvimento desta atividade foi importante para a consolidação da parte teórica da disciplina de Conformação Plástica



utilizando o processo de laminação, proporcionando aos alunos vivenciarem uma situação prática de projeto, construção e validação. O equipamento se mostrou ser aplicável à laminação de materiais extremamente macios e com alta conformabilidade.

## 6 BIBLIOGRAFIA

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

MARTINS, Conceição G. **Aspectos Gerais da Conformação Mecânica e Forjamento**. Florianópolis: Apostila de Processos de Fabricação da Escola Técnica Federal de Santa Catarina, 1993.

## CONSTRUCTION OF A MECHANICAL CONFORMATION PROTOTYPE: TABLE ROLLING MILL

**ABSTRACT:** *The development of manufacturing processes to conform metal parts and that meet the current expectations of the industry regarding the speed of production, quality of finish of the final product, and cost benefit of manufacturing processes, are of great interest to companies in this segment. Lamination is a set of processes in which the material is passed through the opening between rotating cylinders, reducing the cross section. The products can be plates, sheets, bars of different sections, rails, various profiles, rings and tubes. Still, due to the uniformity of production, it has a low cost of quality management control in the final product. In this way, this work aims to consolidate and apply the knowledge obtained in the classroom regarding the plastic forming process, with the construction of a prototype of a rolling mill.*

**Keywords:** *Lamination. Plastic forming. Manufacturing process.*