Estudo de Viabilidade Econômica e Operacional para o Processo de Dobrar Barras



Alessandra Cristina Forbeck Hey[1]; Fabrício Luciano Wolski[1];
João Fredolim Gabardo[1]
[1] Centro Universitário Unifacear

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a melhoria no processo de dobra de grampo em formato "U", o qual é realizado de forma manual, solicitando do operador um esforço acima do recomendado e resultando em um alto índice de não conformidades das peças dobradas. O equipamento desenvolvido é dotado de um sistema hidráulico de fácil operação e com tamanho compacto, para otimizar a fabricação das peças. De acordo com as características solicitadas pela empresa Valmet, o equipamento deverá dobrar barras de aço de até 16 mm de diâmetro, com um ângulo de 180º. Considerando essas características informadas pela empresa foram realizados os cálculos para dimensionar o equipamento e feita a análise por elementos finitos, dos componentes que mais sofrem esforços durante o processo de dobra através do solidworks simulation, demostrando que o mesmo terá a capacidade de executar a operação de dobra dos grampos conforme solicitados. Assim foi desenvolvido um equipamento exclusivo para a fabricação desses grampos dentro da Valmet, devido à falta de um equipamento específico no mercado com um custo reduzido. Os custos de fabricação do equipamento serão de responsabilidade da Valmet, desde matéria-prima até a mão de obra, e o limite imposto pela empresa foi no valor máximo de R$7.000,00, sendo que o custo da dobradeira de barras ficou abaixo do teto orçamentário.

Palavras chave: Grampos, dobra por rotação, cálculos por elementos finitos, equipamento hidráulico.

ABSTRACT

The objective of this Work is to improve the current "U" shape clip bending process, is performed manually, causing a greater effort to the operator than recommended and which has a high index of nonconformities of the folded parts. The equipment developed will be with a hydraulic system of easy operation and compact size, to optimize the fabrication of parts. As the characteristics requested by Valmet, the equipment shall bend steel bars up to 16mm in diameter, with an angle of 180°. With the characteristics informed by the company, the calculations to size the equipment and performed the finite element analysis, of the components that suffer most during the bending process though solidworks simulation, demonstrating that the same, will have the ability to perform the bending operation of the staples as requested. This, an exclusive equipment was developed for the manufacture of these clamps inside Valmet, due to the lack of specific equipment on the market at a low cost. The cost of manufacturing the equipment will be the responsibility of Valmet, from raw material to labor, and the limit imposed by the company was in the maximum amount of R$ 7,000.00, and the cost of the bar folding was below the ceiling the budget.

Key Words: Clamps, fold by rotation, finite element calculations, hydraulic equipment.

1 INTRODUÇÃO

As dobradeiras de barras são máquinas voltadas, como o próprio nome sugere, à realização de dobras em barras redondas de diversos diâmetros, comprimentos e ângulos de dobras. Existem vários modelos no mercado que podem ser classificados através da, dimensão do equipamento, o tipo de matéria prima a ser dobrado, o tamanho e ângulo das dobras e o tipo de acionamento.

O projeto da dobradeira de barras surgiu com a necessidade de modernizar um processo que é realizado de forma manual. Este processo de dobra de barras muitas vezes é preciso ser aquecido o material com maçarico, sem nenhum tipo de controle de temperatura, causando risco de acidente com o operador devido a peça estar quente, além de alterações das propriedades físicas e mecânicas do material. Há também problemas de dimensionamento das peças dobradas, por não existir um controle preciso do comprimento e do ângulo da dobra.

Com o desenvolvimento da tecnologia e modernização dos processos de fabricação, a busca com a melhoria da qualidade, devido a precisão das peças dobradas, a necessidade de aumentar a segurança do operador e de diminuir o tempo da operação de dobra. A partir desses conceitos faz-se a necessidade de desenvolver um equipamento moderno e prático que melhore a fabricação das peças dobradas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 FUNDAMENTOS DE DOBRAMENTO

Dobramento consiste em um processo de conformação mecânica utilizado em chapas, tubos, barras e perfis. Para dobrar barras e tubos o dobramento ocorre aplicando um momento fletor que ultrapassa o limite de escoamento do material a ser dobrado (GROOVER,2010, p.451).

O raio de curvatura e a elasticidade do material são os fatores mais importantes para o dobramento, cantos vivos devem ser evitados, sendo as medidas mínimas padronizadas para cada tipo de material. Devido a elasticidade dos metais é necessário que o dobramento tenha um ângulo maior, que o ângulo definido no desenho, para compensar o retorno elástico do material (CHIAVERINI,1986, p. 109).

2.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Como explica CHIAVERINI (1986, p.8), processo de fabricação, na mecânica, são diversos processos utilizados, para transformar uma matéria prima bruta, em uma peça que tenha uma aplicação qualquer na indústria, onde os mais conhecidos são: fundição, laminação, forjamento, estampagem, usinagem, sinterização e soldagem. Neste tópico são mostrados alguns processos que serão utilizados para a fabricação da dobradeira de barras.

2.3 ENGRENAGEM

As engrenagens são utilizadas quando é necessário transmitir potência ou movimento entre eixos perpendiculares ou movimentos lineares (cremalheira), principalmente quando esses movimentos precisam ser uniformes, suaves, em alta velocidade, alta precisão de sincronismo, quando deseja – se a redução do tamanho do equipamento e grande aumento ou diminuição de rotação e potência (COLLINS, 2006, p. 493).

Comparando as engrenagens com outros mecanismos de transmissão de potência (correias e correntes) as engrenagens possuem maior robustez e durabilidade, sua eficiência é de aproximadamente 98%, pode – se trabalhar com eixos que não são paralelos entre si, maior precisão, cargas, velocidades e baixo índice de ruídos. A desvantagem é o custo causado pela fabricação, que quanto mais preciso for a engrenagem, maior será o seu custo (JUVINALL E MARSHEK, 2008, p. 337)

2.4 ESTUDOS POR ELEMENTOS FINITOS

Conforme explica a Dassault Systemes (2017), a análise de elementos finitos é uma técnica muito utilizada por engenheiros por sua alta confiabilidade. Para a criação dos estudos por elementos finitos é, necessários ter um modelo 3D desenvolvido, onde o *software* divide esse modelo em pequenas partes com uma geometria mais simples, chamada de elementos, que são ligados entre eles através de pontos em comum, denominados nós, onde cada nó possui três graus de liberdade. Com isso o *software* considera o modelo 3D como uma rede de elementos interconectados. O comportamento do modelo é definido pelo *software* através das combinações de todos elementos que forma o modelo.

2.4.1 Malha

A malha é uma etapa crítica do estudo por elementos finitos, ela é a ligação de vários elementos, gerando a geometria da peça a ser analisada (DASSAULT SYSTEMES, 2017).

A malha é gerada através da ligação de nós e elementos, formando elementos sólidos tetraédricos 3D, sendo que quanto mais elementos e nós na malha (malha fina) melhor é a precisão do estudo, porém, leva mais tempo para a realização do estudo, onde é aconselhado fazer uma prévia do estudo utilizando uma malha com menos elemento e nós (malha grossa) para obter resultados mais rapidamente.

2.4.2 Pontos de concentração de tensão

Pontos de concentrações de tensões ocorrem normalmente em arestas agudas e em determinados casos, esses locais de alta tensão podem ser atribuídos às singularidades de tensão, não tendo um significado físico, por não existir tensões infinitas em um ponto singular. (DASSAULT SYSTEMES, 2017).

Uma técnica para descobrir se o ponto de concentração de tensão é legitima, é refinar a malha nos locais de região de tensão. Uma das características de uma singularidade de tensão, é que o valor encontrado continua a aumentar com o refinamento da malha e diverge ao infinito, no caso de as tensões não aumentarem com o refinamento da malha, elas serão consideradas como uma tensão legitima.

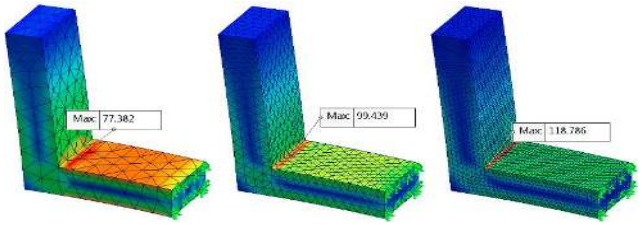


FIGURA 1 - EXEMPLO DE SINGULARIDADE DE TENSÃO
FONTE: DASSAULT SYSTEMES (2017)

2.5 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

O equipamento que foi desenvolvido está sendo fabricado e será utilizado na empresa Valmet que é uma multinacional Finlandesa fundada em 1797 do ramo de Papel, Celulose e Energia, sendo uma de suas filiais localizada no município de Araucária – PR,

aonde nessa planta é dividida em duas partes: a primeira de projetos e tecnologia aonde são desenvolvidos grandes áreas como, Evaporação, Caldeira, Linha de Fibras, Secagem entre outros e a segunda parte é o Workshop aonde são fabricados equipamentos para essas áreas e também é realizada a recuperação de alguns equipamentos específicos.(VALMET 2018).

2.6 METODOLOGIA

Analisando a dificuldade em realizar dobras de barras redondas em formato de "U" e a falta de opções de equipamentos específico para este processo, foi desenvolvido uma máquina que realize essas dobras sem a necessidade de utilizar o esforço físico do operador. Esse equipamento foi projetado para dobrar diferentes tamanhos de barras conforme os produtos que são fabricados pela empresa.

Conforme (PROVENZA, 1996, p. 4-46), a força que uma pessoa pode realizar é no máximo 50 kgf em uma alavanca, e a média é de 24 kgf e a força necessária para realizar a dobra na barra com uma alavanca de 0,5 m de comprimento é de aproximadamente 30 kgf, valor acima da média que uma pessoa pode realizar e, levando em consideração que normalmente são realizadas as dobras de 20 peças por lote. Ocorrem variações nas dimensões das dobras das peças devido ao cansaço físico do operador.

No desenvolvimento do projeto foi utilizado o *software Solidworks* para o modelar a máquina de dobrar barras, onde com esse mesmo *software* é possível realizar estudos de elementos fintos para obter o melhor dimensionamento dos seus componentes.

2.6.1 Ciclo PDCA

É uma das ferramentas da qualidade mais utilizado nas empresas, é também um método de melhoria contínua e sua aplicação não se esgota utilizando em um único processo. Ele apresenta as seguintes sequências numeradas abaixo: (SELEME, STADLER, 2012, p. 28)

2.6.1.1 Planejar (Plan)

Foi identificado um problema na fabricação dos grampos “U”, que várias peças fabricadas por lote ficam com as dobras irregulares (variação de dimensões no ângulo em peças do mesmo lote), gerando retrabalho das peças ou em casos mais extremos o sucateamento das mesmas.

Esse problema ocorre em vários lotes de peça produzida, não sendo um problema isolado. Foi analisado que a causa principal dessas não conformidades é o dispositivo de dobra não adequado, o processo que tem a necessidade de utilizar maçarico e a dobra que varia dependendo da força e do cansaço do operador.

Para eliminar esse problema, foi desenvolvido um equipamento hidráulico que realize a dobra dessas peças mantendo o mesmo padrão dimensional das mesmas.

2.6.1.2 Fazer (Do)

Primeiramente o operador não precisa utilizar mais o dispositivo manual para as dobras, será utilizado apenas o equipamento hidráulico. Para operar a máquina será necessário um treinamento dos funcionários sobre o novo processo de dobramento dos grampos “U”.

2.6.1.3 Checar (Check)

Com os estudos e análises realizados no *software Solidworks* podemos ter uma prévia da melhoria do processo de fabricação dos grampos “U” onde não será mais necessário o uso do maçarico, do esforço físico do operador e a redução de riscos de acidentes com a aplicação da gaiola de proteção.

2.6.1.4 Ação (Action)

A padronização da dobradeira será documentada através de um manual interno da Valmet, explicando aos operadores que o processo de dobramento de barras será realizado apenas com o novo processo da dobradeira hidráulica, não sendo mais permitido as dobras com o dispositivo manual antigo. Neste novo processo será realizado o

acompanhamento dos resultados, verificando problemas remanescentes e estabelecendo possíveis melhorias para o processo.

2.7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para dimensionar o equipamento, foram analisados os limites de escoamento dos materiais utilizados pela empresa na fabricação dos grampos “U”, como pode ser visto na Tabela 1. Para realização dos cálculos foram utilizados o caso mais extremo do aço 13CrMo4-5.

TABELA 1 - RESISTENCIA DOS MATERIAIS A SEREM A DOBRADOS

MATERIAL	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)
310S	205
304	215
A36	250
13CrMo4-5	300

FONTE: OS AUTORES (2018)

2.7.1 Memorial de Cálculo

A necessidade dos cálculos surgiu a partir do desenvolvimento dos desenhos, pois era primordial determinar qual era a força necessária para dobrar uma barra de Ø 16 mm com uma tensão de escoamento (σy) de 300 MPa. Então foi iniciado os cálculos de dimensionamento do equipamento, primeiramente calculando a Energia de Deformação Plástica da Barra, através da equação (2).

Para encontrar o valor de d foi utilizado a equação (1).

$$\frac{d}{2} = \left(\frac{4}{3\pi}\right) * r \qquad (1)$$

LUBLINER, 1990 P. 235

Onde:

d = Distância entre o centro e a metade da área da seção
r = Raio da peça

$$\boxed{d = 6{,}79 * 10^{-3} m}$$

$$Mu = \frac{1}{2} * \sigma y * A * d \quad (2)$$

LUBLINER, 1990 P. 235

Onde:

Mu = Momento Energia de Deformação Plástica (Nm)
σy = Tensão de Escoamento do material (MPa)
A= Área (m²)
d = Distância entre o centro e a metade da área da seção (m)

$\boxed{Mu = 141{,}25\ Nm}$

Tendo o valor de Momento de Energia de deformação plástica, é possível determinar a força aplicada pela polia para dobrar a barra através da equação (3).

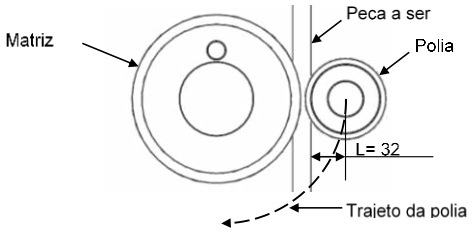


FIGURA 2 – POLIA
FONTE: OS AUTORES (2018)

$$Mu = L * F \quad (3)$$

Onde:

Mu = Momento Energia de Deformação (Nm)

L = Distância da aplicação da força (m)

F = Força (N)

$\boxed{F = 4414\ N}$

Sabendo o valor da força a ser aplicada pela polia, pode-se determinar o momento fletor da engrenagem, através da equação (4).

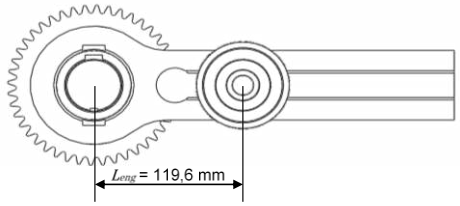


FIGURA 3 - DISTÂNCIA DA POLIA PARA A ENGRENAGEM
FONTE: OS AUTORES (2018)

$$M_{eng} = F * L_{eng} \quad (4)$$

Onde:

M_{eng} = Momento da engrenagem (Nm)
F = Força (N)
L_{eng} = Distância do centro da engrenagem ao centro da Polia (m)

$\boxed{M_{eng} = 527{,}91\ Nm}$

Com o valor do momento fletor da engrenagem é possível encontrar o valor da força aplicada pelo cilindro, através da equação (5).

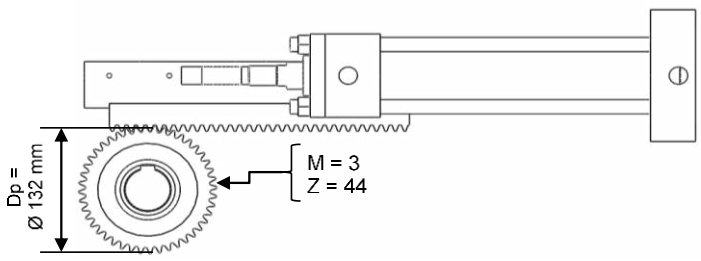


FIGURA 4 - DIMENSÃO DA ENGRENAGEM
FONTE: OS AUTORES (2018)

$$F_{cil} = \frac{M_{eng}}{R_{peng}} \quad (5)$$

Onde:

F_{cil} = Força do Cilindro (N)
M_{eng} = Momento da Engrenagem (Nm)
R_{peng} = Raio primitivo da Engrenagem (m)

$\boxed{F_{cil} = 7998{,}64\ N}$

Calculada a força necessária pelo cilindro é possível dimensionar o seu diâmetro, através da equação (6) e (7). Considerando a pressão de saída da bomba de 50 bar (509858 kgf/m²).

$$P = \frac{F_{cil}}{A_{cil}} \quad (6)$$

Onde:

P = Pressão (kgf/m²)
F_{cil} = Força do cilindro (kgf)
A_{cil} = Área do cilindro (m²)

$$\boxed{A_{cil} = 0{,}0016\ m^2}$$

Com a área do cilindro calculada, substitui-se os valores na equação (7) para obter o diâmetro interno mínimo do cilindro.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \tag{7}$$

Onde:

A= Área (m²)
D= Diâmetro do cilindro (m)

$$\boxed{D = 45{,}13mm}$$

2.8 SIMULAÇÕES SOLIDWORKS SIMULATION

A fim de obter uma melhor qualidade e rapidez na validação dos componentes do equipamento, foram realizados estudos com o *solidworks simulation* das peças mais solicitadas durante o processo de dobra.

2.8.1 Tensões Cremalheira

Aplicando uma força de 815 kgf, (que é a força aplicada pelo cilindro durante o processo de dobra), no furo onde será fixado o pistão e, deixando fixo os movimentos de dois dentes da cremalheira (quantidade de dentes que ficam em contado com a engrenagem). Na análise a maior tensão resultante, foi de aproximadamente 152 MPa, localizada nos dentes da cremalheira, que é fabricado em aço ABNT 1045 com limite de escoamento de ~ 530 MPa, o que mostra que o conjunto irá suportar a força aplicada pelo pistão.

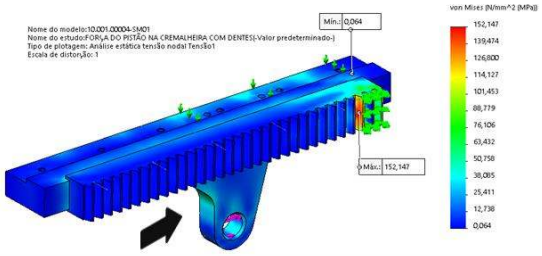


FIGURA 5 – ANÁLISE DE TENSÕES CREMALHEIRA

FONTE: OS AUTORES (2018)

2.8.2 Tensões na engrenagem

Na engrenagem, a força aplicada será exatamente a mesma gerada pelo cilindro hidráulico (desconsiderando perdas por atrito) transmitida através da cremalheira. Como a engrenagem escolhida possui 44 dentes e módulo 3, o seu diâmetro primitivo é Ø132 mm, onde é aplicada o torque de ~527,91 Nm.

E conforme cita Melconian (2002, p.27), o torque (M_t) é definido como: força (F) vezes a distância da aplicação desta força (l), conforme pode ser visto na equação (8).

$$M_t = F \times l \tag{8}$$

Sendo:

F = 7998 N ou 815 kgf, força aplicada pelo cilindro.

l = 66 mm ou 0,066 m, raio primitivo da engrenagem.

Na simulação foi aplicado o torque de 527,91 Nm em um dente, definindo como fixa as faces onde será montada a chaveta. Encontrando um valor de aproximadamente 517 MPa, no pé do dente. Devido ao valor estar muito próximo do limite de escoamento do aço ABNT 1045, (530 MPa), foi optado por fabricar a engrenagem em aço ABNT 4340, quando temperado e normalizado seu limite de escoamento fica em torno de 710 MPa, valor suficiente para a sua aplicação na dobradeira de barras.

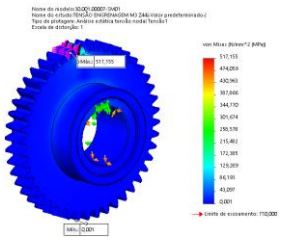


FIGURA 6 – ANÁLISE DE TENSÕES NA ENGRENAGEM

FONTE: OS AUTORES (2018)

2.8.3 Tensões no eixo-árvore

Aplicando o mesmo valor do torque, do estudo na engrenagem (527,91 Nm) na região da chaveta do eixo, e mantendo fixo as áreas das chavetas do braço, foi obtido uma tensão máxima de ~175 MPa, exatamente na região da chaveta inferior (engrenagem). Sendo um valor bem menor que a tensão de escoamento material escolhido, ABNT 4340 sem tratamento térmico (470 MPa).

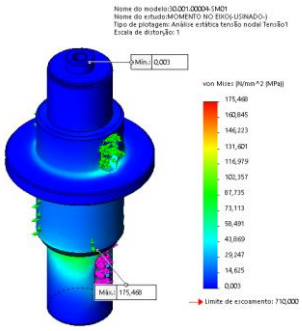


FIGURA 7 - ANÁLISE DE TENSÃO EIXO-ÁRVORE
FONTE: OS AUTORES (2018)

2.8.4 Tensão no braço móvel

No braço móvel, que será o responsável por gerar a conformação da barra, também foi aplicado o torque de 527,91 Nm, nas áreas onde será montado as chavetas junto ao eixo-árvore e deixando como pontos fixos as áreas de contado onde será montado o mancal móvel.

Com estas configurações a tensão máxima encontrada foi de ~71 MPa. Muito abaixo do limite de escoamento do material ao qual a peça foi fabricada, ABNT 1020 (~350 MPa), sendo mais que o suficiente para o projeto.

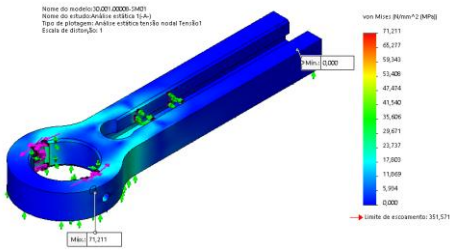


FIGURA 8 - ANÁLISE DE TENSÃO NO BRAÇO MÓVEL
FONTE: OS AUTORES (2018)

2.8.5 Tensão da guia móvel do conjunto de aperto rápido

Foi analisado as tensões do suporte do guia móvel do conjunto de aperto rápido para averiguar se o sistema de fixação suporta a carga aplica nele durante o processo de dobra, conforme o movimento real de trabalho da máquina aplicando um momento de 527,91 Nm, obtendo um resultado de aproximadamente 760 MPa (FIGURA 9), valor esse bem acima do limite de escoamento do material ABNT 1045.

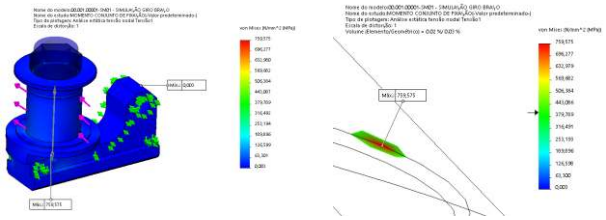


FIGURA 9 - ANÁLISE DE TENSÃO SUPORTE E RECORTE ISO
FONTE: OS AUTORES (2018)

Devido ao valor ser muito maior que o limite de escoamento do material que o obtido no estudo anterior, foi necessário avaliar melhor o ponto de maior tensão.

Continuando a diminuir a escala do recorte ISO, somente uma área considerável de concentração de tensões aparece quando chegamos a um valor aproximado de 210 MPa, que é um valor muito abaixo do material utilizado na peça, de tal forma que a peça suporta a carga exigida para o processo de dobra.

2.8.6 Análise de tensões na estrutura

No estudo da estrutura da dobradeira, foi simulado a força de 815 kgf do cilindro, na chapa de fixação do cilindro, e nos furos onde será fixado eixo árvore, como pode ser visto na FIGURA 10.

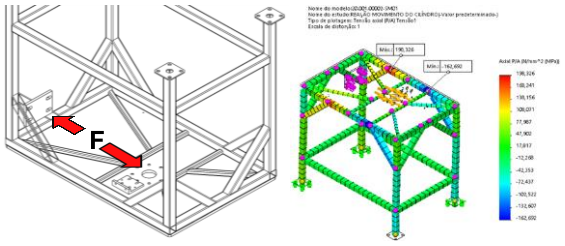


FIGURA 10 - ESTRUTURA DE VIRADA PARA BAIXO E ANÁLISE ESTRUTURAL
FONTE: OS AUTORES (2018)

No estudo a tensão máxima encontrada foi de ~198 MPa, em uma das longarinas horizontais. A estrutura é fabrica em tubos de aço ABNT 1020 com limite de escoamento de ~350 MPa assegurando a rigidez da estrutura.

2.9 CUSTOS DO EQUIPAMENTO

A tabela abaixo apresenta as descrições resumidas dos itens e os seus devidos custos.

TABELA 2 - CUSTOS DE FABRICAÇÃO

DESCRIÇÃO DO ITEM	VALOR (R$)
Barras Redondas de aço	278,00
Tubos Quadrados de aço	532,35
Chapas de aço	547,00
Itens comerciais (parafusos, porcas, arruelas, rolamentos e guia linear)	529,77
Itens comerciais (Cremalheira)	472,69
Mão de Obra (Usinagem, Caldeiraria, Montagem e Pintura)	3.730,82
TOTAL	6.090,63

FONTE: OS AUTORES (2018)

2.10 TESTES E VALIDAÇÕES

Com os estudos realizados pelo *software solidworks simulation* podemos validar o funcionamento do equipamento para realizar as dobras de barras do material mais resistente, o DIN 13CrMo4-5 de 16mm de diâmetro.

3 CONCLUSÃO

A elaboração desse projeto consistiu na melhoria do processo de fabricação de grampos “U”, desenvolvendo-se um equipamento para a redução do esforço físico do operador e, também, diminuir a quantidade de peças não conformes. Como metodologia foi utilizado o ciclo PDCA para identificação do problema, onde encontrou-se o processo de dobra manual como o principal responsável pelas não conformidades e, definidas as ações para a solução deste problema, optou-se pelo desenvolvimento do equipamento.

Através dos estudos realizados com os cálculos e simulações por elementos finitos, o ponto crítico encontrado da dobradeira, foi a engrenagem, por ser o componente com maior concentração de tensão, obtido no estudo com o *solidworks simulation* e

também, por ser o mecanismo que transforma o movimento linear do pistão em movimento rotacional. Através do estudo realizado, foi necessário trocar a matéria prima da engrenagem de aço ABNT 1045 para o aço ABNT 4340 com tratamento térmico após a usinagem.

O principal cálculo para a realização do projeto, foi encontrar a força necessária para dobrar a barra, necessitando calcular a energia de deformação plástica do material 13CrMo4-5, através da fórmula de energia de deformação (Lubliner,1990, p. 235). Após este cálculo foi possível dar continuidade aos demais cálculos de dimensionamento do equipamento.

Com a realização dos cálculos para validação do equipamento pelo *solidworks simulation* foi constatado que o equipamento terá capacidade de realizar as dobras melhorando a qualidade das peças dobradas, extinguindo a necessidade de esforço físico do operador e a possibilidade de realizar dobras a frio.

Para trabalhos futuros sugere – se a implementação de uma bomba hidráulica e comandos exclusivos para a dobradeira, podendo fixar a bomba na parte inferior da estrutura. A implementação de NR-12 com sensores de segurança na gaiola de proteção, evitando que o mecanismo se movimente com a tampa aberta. Adequar a dobradeira para realização de dobras em tubos de até 32mm de diâmetro.

4 REFERÊNCIAS

CHIAVERINI V..**Tecnologia Mecânica:** Processo de fabricação e tratamento. 2. ed. São Paulo: Pearson, 1986.

COLLINS A. J.. **Projeto mecânico de elementos de maquinas:** Uma perspectiva de prevenção da falha: 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

DASSAULT SYSTEMES. **AJUDA DO SOLIDWORKS 2017**. Disponível em <http://help.solidworks.com/2017/portuguese-brazilian/SolidWorks/cworks/hidd_stress_hot_spot.htm?id=d3a78bed82ce452a9cdfff301d72cb13#Pg0>. Acesso em 23/09/2018.

GROOVER P.M.. **Fundamentals of modern manufacturing:** Materials, Processes, and Systems: 4. ed. Danvers: Wiley, 2010.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M.. **Fundamentos do projeto de componentes de máquinas:** 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.

LUBLINER, Jacob. **Plasticity Theory:** 1. ed. New York: Macmillan,1990.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2002.

PROVENZA, Francesco. **Projetista de máquinas:** pro-tec. 71. Ed. São Paulo: F. Provenza, 1996.

SELEME Robson, STADLER Humberto, **Controle da Qualidade:** As ferramentas essenciais. 2. ed. Curitiba: Ibpex, 2012.

VALMET. Disponível em:<https://www.valmet.com/pt/sobre-a-valmet/um-resumo-da-valmet/historia/> Acesso em 15/04/2018.