
PROJETO EXECUTIVO DE UM EQUIPAMENTO DIDÁTICO PARA LAMINAÇÃO DE CHAPAS DE MATERIAIS NÃO FERROSOS.

Sousa Diego Ivo de

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. diegoivodesousa@gmail.com

Cruz Diego Martins Azevedo

Centro Universitário de Anápolis –UniEVANGÉLICA.diegotatcstreet@hotmail.com

Santos Lucas vieira do

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. lucas.vieira._santos@hotmail.com

Brandão Sérgio Mateus

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. sergio.brandao@unievangelica.edu.br

Rosemberg Fortes Nunes Rodrigues

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. rosemberg.rodrique@unievangelica.edu.br

Resumo

A laminação é um processo de conformação mecânica que essencialmente consiste na passagem de um corpo sólido, normalmente uma chapa, entre dois cilindros, que são os componentes principais do equipamento denominado laminador, o qual promove deformação plástica do material através da transformação mecânica decorrente da redução da seção transversal e aumento do comprimento. Este trabalho visa a elaboração do projeto de um laminador de bancada didático do tipo Duo, projetado para os docentes e discentes do curso de Engenharia Mecânica terem a possibilidade de usá-lo nas suas aulas e tarefas práticas. O mesmo foi desenvolvido utilizando os softwares Solidworks® e AutoCAD®. Este contempla o detalhamento de toda a estrutura para utilização de corpos de prova de Alumínio AA1100-0, Alumínio 6061-0, Cobre (99,94) e Latão 70 Cu–30Zn, com as medidas das chapas limitadas a 6mm de espessura e 100mm de largura. O dimensionamento e seleção dos componentes do laminador de bancada foi executado a partir das equações padrões relacionados aos elementos de máquinas envolvidos. Conforme os resultados apresentados nota-se a viabilidade nos aspectos econômico, didático e técnico, ressaltando a importância e os benefícios que o projeto trará ao Centro Tecnológico Universitário, além de permitir o maior aprendizado de todos os envolvidos com o desenvolvimento deste.

Palavras-Chave: Laminadores, Didáticos, Conformação Mecânica.

Abstract

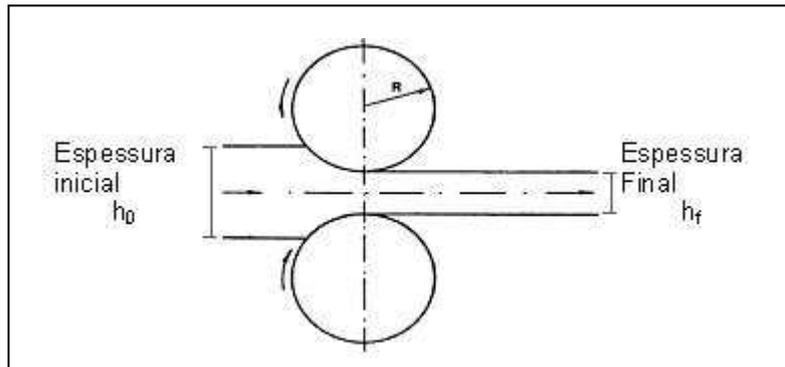
Lamination is a mechanical forming process that essentially consists of passing a solid body, usually a plate, between two cylinders, which are the main components of the equipment called a rolling mill, which promotes plastic deformation of the material through the mechanical transformation resulting from the reduction cross section and increased length. This work aims to develop the project of a Duo-type didactic bench laminator, designed for teachers and students of the Mechanical Engineering course to have the possibility of using it in their classes and practical tasks. It was developed using Solidworks® and AutoCAD® software. This includes the detailing of the entire structure for the use of AA1100-0 Aluminum, 6061-0 Aluminum, Copper (99.94) and 70Cu-30 Zn Brass specimens, with plate measurements limited to 6mm thick and 100mm wide. The sizing and selection of the bench mill components was performed based on standard equations related to the machine elements involved. According to the results presented, the feasibility in economic, didactic and technical aspects is noted, highlighting the importance and benefits that the project will bring to the University Technological Center, in addition to allowing greater learning for all those involved in its development.

Key words: Laminators, Didactics, Mechanical Conformation.

1. INTRODUÇÃO

A laminação é um processo de conformação mecânica que essencialmente consiste na passagem de um corpo sólido (chapa) entre dois cilindros (ferramentas) que giram à mesma velocidade periférica, mas em sentidos contrários, conforme é apresentado na Figura 1 [1].

Figura 1: Ilustração do processo de laminação.



Fonte: [1].

A laminação é um processo realizado a temperaturas bem inferiores à recristalização do alumínio podendo ser quente e a frio. No processo a frio, a liga de alumínio influencia no produto almejado, e o número de passes depende da espessura inicial e final. A deformação a frio confere encruamento ao alumínio aumentando os limites de resistência e escoamento com diminuição do alongamento. Neste processo vamos definir a espessura do material a ser realizado [2].

A conformação mecânica é o principal componente do laminador são dois cilindros, cuja função é reduzir a espessura da chapa até o tamanho da luz entre eles. Um lingote pode ser reduzido gradativamente a chapas ou folhas finas, seja passando repetidamente entre os mesmos cilindros e diminuindo a luz entre eles, seja passando por uma série de cadeiras com o espaçamento cada vez menor entre os cilindros [3].

Os processos de conformação mecânica alteram a geometria do material através de forças aplicadas por ferramentas adequadas que podem variar desde pequenas matrizes até grandes cilindros, como os empregados na laminação. De acordo com a temperatura e o material utilizado, a conformação mecânica pode ser classificada como trabalho a frio, a morno e a quente. Cada um destes trabalhos fornecerá características especiais ao material e à peça obtida. Estas características serão função da matéria prima utilizada como composição química e estrutura metalúrgica (natureza, tamanho, forma e distribuição das fases presentes) e das condições impostas pelo processo tais como o tipo e a velocidade de deformação, o grau e a temperatura no qual o material é deformado [4].

Os processos de conformação podem ser definidos conforme o tipo de esforço predominante em [5].

- processos de conformação por compressão direta;
- processos de conformação por compressão indireta;
- processos de conformação por tração;
- processos de conformação por cisalhamento;
- processos de conformação por flexão.

Os processos apresentados acima são: Compressão direta que predomina a solicitação externa por compressão sobre a peça de trabalho, e são classificados os processos de forjamento por meio (livre e de matriz fechada) e laminação (plana e de perfis). Sendo que a compressão indireta, as forças externas aplicadas sobre a peça são de tração ou compressão. Porém as que efetivamente provocam a conformação plástica do metal são de compressão indireta, forças desenvolvidas pela reação da matriz sobre a peça [3].

Tração é o estiramento de chapas, em que a peça toma a forma da matriz por meio da aplicação de forças de tração em suas extremidades. O cisalhamento, são forças cisalhantes suficientes para gerar o rompimento do metal no processo de cisalhamento, alguns exemplos do processo e o corte de chapas e a torção de barras. Flexão, as modificações são obtidas mediante a aplicação do momento fletor, a exemplo das dobras chapas, barras e tiras de barras, a utilizar os processos de dobramento livre, dobramento de borda, dobramento de matriz e calandragem [5].

Neste contexto o objetivo deste é elaborar um projeto executivo de um laminador de bancada didático para chapas de AL AA1100-0, AL6061-0, Cu (99,94) e latão 70Cu - 30Zn, planas de materiais não ferrosos, limitadas a chapas de 6 mm de espessura máxima por 100 mm de largura, a fim de auxiliar os professores e alunos com práticas experimentais de análise de processo, assim como, também para futuras pesquisas nesta área de conhecimento.

A motivação deste surgiu com a possibilidade de projetar um equipamento para ser aplicado nas aulas das disciplinas de Conformação Mecânica, Materiais, Projetos de Máquinas, entre outras. O qual irá atender a pesquisa de comportamento dos materiais após o processo de laminação ou para auxílio na confecção de corpos de prova para ensaios de tração de diversos materiais não ferrosos.

1.1. Processo de Laminação

O processo de laminação é realizado a frio ou a quente, dependendo das dimensões e estrutura do material da peça especificada para o processo. A laminação a quente é usada para operações de desbaste e a laminação a frio, para operações de acabamento [3].

1.1.1. Laminação a Quente

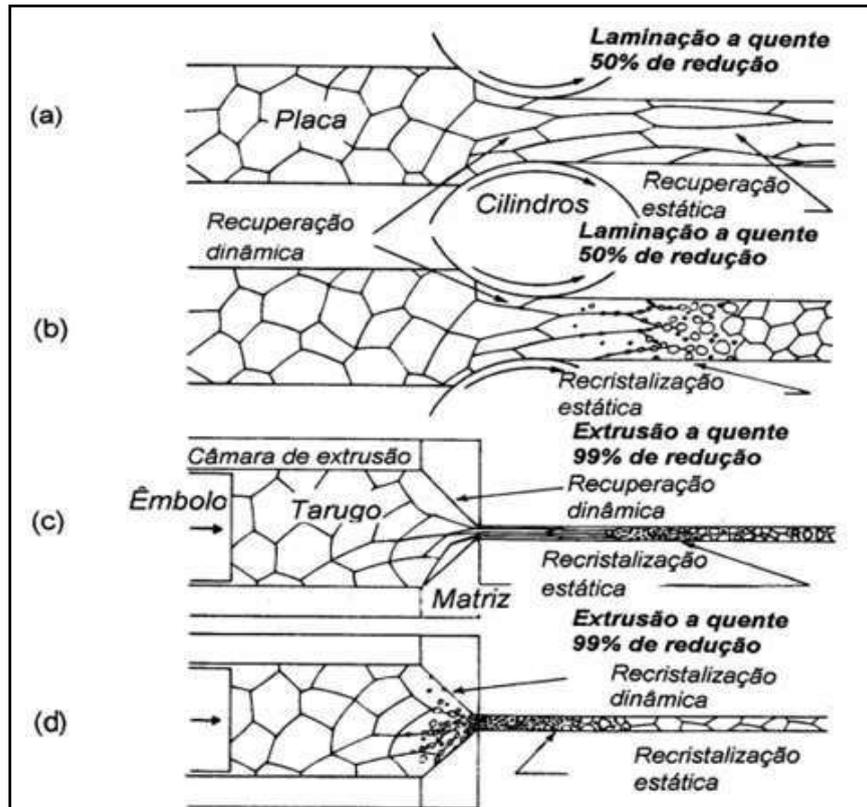
A laminação a quente é um processo de deformação, do material, para reduzir a resistência à deformação plástica é aplicada em grandes reduções de seções transversais, sendo assim "a laminação a quente se caracteriza por modificar completamente a estrutura bruta de fusão de grãos grosseiros, refinando o grão do metal laminado e, conseqüentemente, contribuindo para a melhoria das propriedades mecânicas e metalúrgicas do material" [4].

O trabalho mecânico a quente a deformação do material a ser laminado a "etapa inicial do processo de laminação no qual o material é aquecido a uma temperatura elevada (no caso de aços inicia entre 1100 e 1300 °C e termina entre 700 e 900 °C, porém no caso de materiais não-ferrosos estas temperaturas normalmente são consideradas mais inferiores) para que seja realizado o chamado desbaste dos lingotes ou placas fundidas" [5], considerando essa alteração nas microestruturais dos materiais envolvidos isso modifica-se a estrutura devido às rápidas taxas de difusão presentes em temperaturas de trabalho a quente, porque "os lingotes de materiais não ferrosos são menores e as tensões de escoamento são normalmente mais baixas do que as dos materiais ferrosos, os permite o uso de laminadores de pequeno porte. Laminadores duos ou trios são normalmente usados para a maioria dos metais não ferrosos na laminação a quente, entretanto, laminadores quádruplos" contínuos são usados para as ligas de alumínio [5].

O segundo passo a placa é aquecido até tornar-se semi plástica para melhor a modelagem, e a cada passada, pelos cilindros, a abertura define a espessura do passe. Para cada redução a espessura por passe é

de aproximadamente 50% podendo sofrer variação dependendo da dureza da liga do material que está sendo laminado, conforme a Figura 2 demonstra o processo de laminação a quente [6].

Figura 2: Esquema da Recristalização dos Metais.



Fonte: [12].

1.1.2. Laminação a Frio

A laminação a frio ocorre em temperatura ambiente, sem resfriamento, e abaixo da temperatura de recristalização do material. Por estar abaixo da temperatura de recristalização, o aço não pode ser laminado com tanta intensidade como na laminação a quente, pois ele apresenta maior resistência a deformação plástica. A laminação a frio é empregada para produzir folhas e tiras com acabamento superficial e com tolerâncias dimensionais superiores quando comparadas com as tiras produzidas por laminação a quente. Além disso, o encruamento resultante da redução a frio pode ser aproveitado para dar maior resistência ao produto final[8].

Na laminação a frio “A redução total atingida pela laminação a frio geralmente varia de 50 a 90%. Ao estabelecer o grau de redução em cada passe ou em cada cadeia de laminação, deseja-se uma distribuição tão uniforme quanto possível nos diversos passes, sem que haja uma queda acentuada da redução máxima em cada passe.” [7].

Como a temperatura de trabalho situa-se abaixo da temperatura de recristalização, o material da peça apresenta uma maior resistência a deformação e um aumento dessa resistência com a deformação, por isso “na laminação a frio o material é submetido a tensões compressivas altas, resultantes da ação de prensamento dos cilindros, a tensões cisalhantes superficiais, e a tensões de tração, no caso de laminação com tração

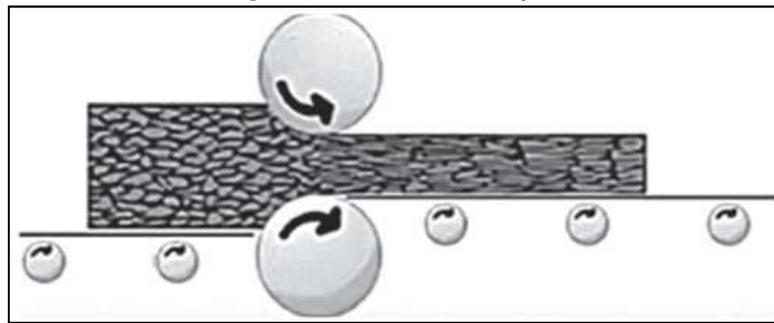
avante, que juntamente com as forças de atrito são responsáveis pelo ato de puxar o metal através do laminador.” [8].

Levando em conta as aplicações:

A laminação a frio também pode ser feita mesmo em metais cuja resistência à deformação é maior. São passes rápidos e brandos cuja finalidade é obter maior precisão nas dimensões das chapas. Em alguns casos, a dureza e a resistência do material melhoram já que, nesse caso, ele fica "encruado". Quando se necessita de precisão dimensional e ductilidade, a chapa laminada a frio passa por um tratamento térmico chamado recozimento. [9]

O esquema representativo na Figura 3 destaca as modificações realizadas no trabalho mecânico a frio, na realização do processo o material está completamente deformado e alinhado na direção da deformação [9].

Figura 3: Processo de Laminação.

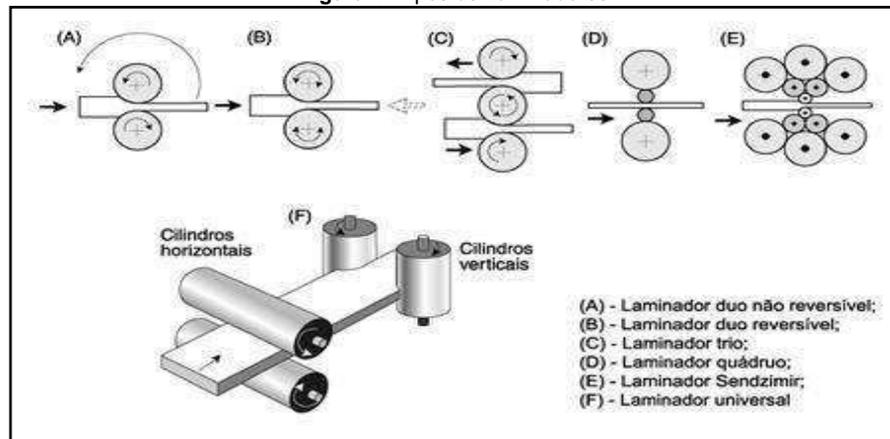


Fonte: [13].

1.1.3. Tipos de Laminadores

Os tipos de laminadores são classificados conforme o número de cilindros e cinemática do seu movimento, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: Tipos de Laminadores.



Fonte: [14].

- A. LAMINADOR DUO – O material a receber deformação passa em apenas em uma direção.
- B. DUO REVERSÍVEL – O material a receber deformação passa em ambas as direções, alternadamente. Após cada passe a distância entre os rolos é reduzida.

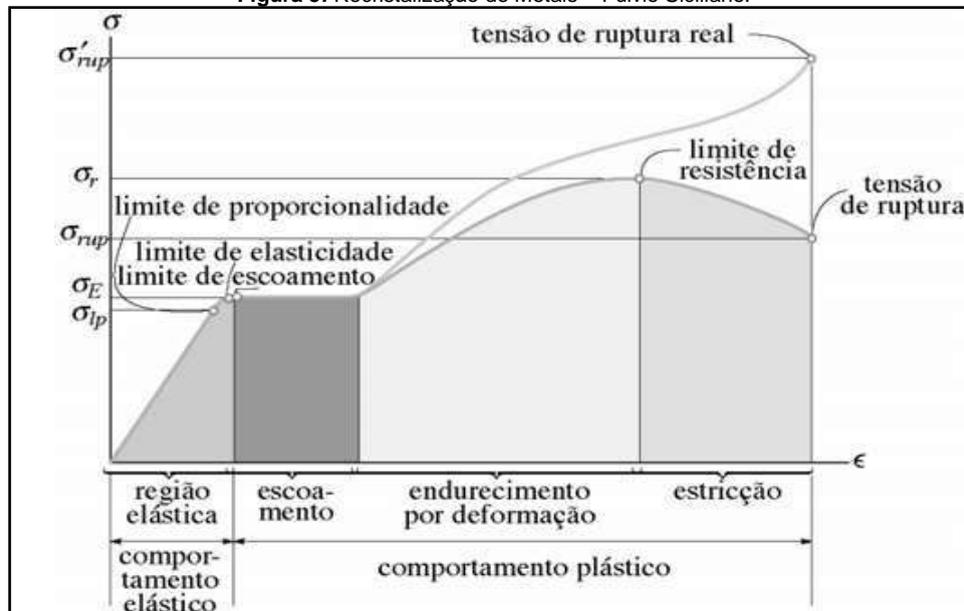
- C. LAMINADOR TRIO – são usados três cilindros. O material passa primeiramente em meio aos cilindros inferiores em uma direção e volta em meio aos cilindros superior e intermediário.
- D. LAMINADOR QUÁDRUO – são utilizados quatro cilindros, dois menores centrais e dois maiores que conferem a rigidez necessária.
- E. LAMINADOR SENDZIMIR – agrupados ou combinados, são de alto custo sendo utilizados para laminação a frio, assim como no acabamento de produtos cujas tolerâncias dimensionais são muito rígidas.
- F. LAMINADORES UNIVERSAIS – combinam entre dois pares de cilindros horizontais (responsáveis pela redução na espessura) e cilindros verticais (responsáveis pela manutenção da largura do material em processamento) [9].

1.2. Relação Curva Tensão x Deformação.

O fator de trabalho na laminação são os cilindros em movimento de rotação, acionados pelo conjunto mecânico, motores e caixas de transmissão, que geram carga suficiente para causar a deformação do material [3].

A capacidade de deformação do material, as funções de tensões resultantes que recebe durante o pressionamento dos cilindros sobre o material é relacionado na curva Tensão x Deformação.

Figura 5: Recristalização de Metais – Fúlvio Siciliano.



Fonte: [3].

O ponto de trabalho a ser analisado na figura acima está entre escoamento X estrição. Sobre as condições ideais, o ponto de deformação seria fixo, no entanto isto não ocorre, tendo em vista que as condições de processo não são rigidamente constantes, entretanto, algumas observações devem ser consideradas, tais como a região elástica não ocorre deformação, com o material recuperando a sua forma inicial [10,11].

A região de estrição do material pode-se encontrar algumas rupturas, visto que a região se aproxima do limite da resistência e uma variação mais brusca do processo poderá levar a uma condição de deformação máxima podendo o material ocasionar a ruptura [11].

1.3. Definição das Relações geométricas para o dimensionamento de cilindro de Laminação

Os cilindros laminadores atuam com esforço de compressão diretamente sobre a peça, dessa forma classifica-se como um processo de compressão direta. A forma inicial da peça e a intensidade da deformação da seção transversal, ditam a deformação plástica na direção da largura da peça [1,6].

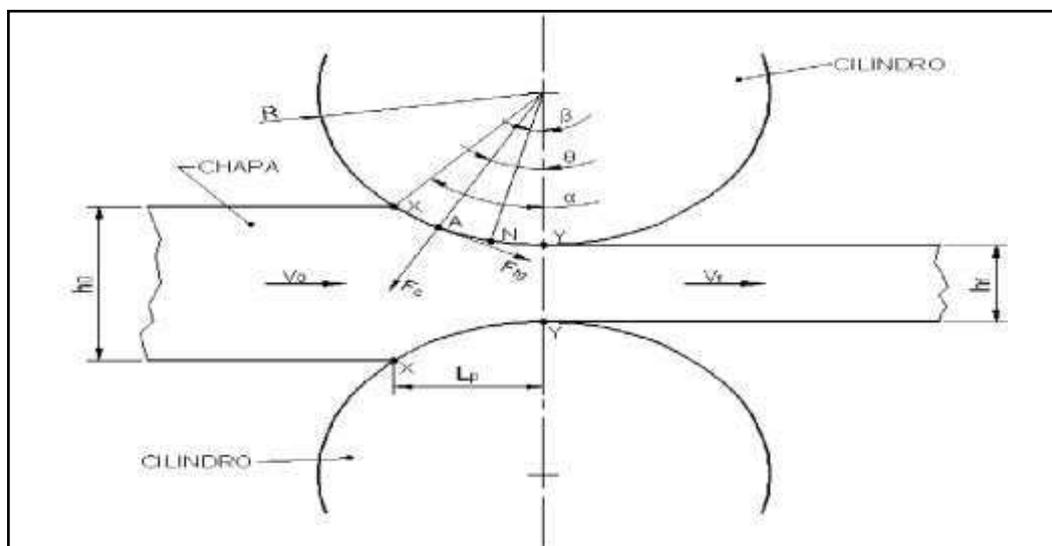
Zona de deformação e ângulos de contato durante a laminação. Cada cilindro entra em contato com o metal segundo o arco AB – Arco de Contato – A esse arco corresponde o ângulo chamado ângulo de contato ou de ataque. recebendo o nome de zona de deformação a zona à qual corresponde o volume de metal limitado pelo arco AB, pelas bordas laterais da placa sendo laminada e pelos planos de entrada e saída do metal dos cilindros. O metal, de espessura h_0 , entra em contato com os cilindros no plano AA à velocidade V_0 e deixa os cilindros, no Plano BB, com a espessura reduzida para h_1 [3].

Admitindo que não haja alargamento da placa, a diminuição de altura ou espessura é compensada por um alongamento, na direção da laminação. Para que um elemento vertical da placa permaneça indeformado, a equação exige que a velocidade na saída v_1 seja maior que a velocidade de entrada v_0 . A velocidade da placa cresce da entrada até a saída. Ao longo da superfície ou arco de contato, entre os cilindros e a placa, ou seja, na zona de deformação, há somente um ponto onde a velocidade periférica V dos cilindros é igual à velocidade da placa. Esse ponto é chamado ponto neutro ou ponto de não deslizamento e o ângulo central γ é chamado ângulo neutro [3].

As duas forças principais que atuam sobre o metal, quer na entrada, quer em qualquer ponto da superfície de contato, são: uma força normal ou radial N e uma força tangencial T , também chamada força de atrito. Ao ultrapassar o ponto neutro D , o movimento da placa é mais rápido que o da superfície dos cilindros. Assim, a direção da força de atrito inverte-se, de modo que sua tendência é opor-se à saída da placa de entre os cilindros [3].

Para o melhor entendimento na Ffigura 6 mostra as relações geométricas utilizadas nos cálculos para o dimensionamento dos cilindros e na utilização de mais contas e na Tabela 1 a sua nomenclatura.

Figura 6: Relações Geométricas.



Fonte:[3].

Tabela 1: Nomenclatura da Figura 6

b - Largura da chapa.	β - Ângulo sem deslizamento.	Fc - Força de compressão (carga de laminação).
R - Raio do cilindro.	X-X - Plano de entrada.	Ftg - Força tangencial.
h_0 - Espessura inicial da chapa.	N - Ponto neutro.	Lp - Arco de contato projetado.
h_1 - Espessura final.	A - Ponto qualquer sobre o arco de contato.	N - Ponto neutro.
α - Ângulo de contato.	V0 - Velocidade inicial (entrada).	A - Ponto qualquer sobre o arco de contato.
θ - Ângulo da força de laminação.	Vf - Velocidade final (saída).	

Fonte:[3].

Com base nas relações geométricas expostas na Figura 6 tem se a relação de equações a serem aplicadas no dimensionamento de cilindro de laminação, as quais estão relacionadas na Tabela 2 [3].

Tabela 2: Descrições das Equações.

Número	Descrição	Equações	Simbologia
1	Redução por passagem em r entre os cilindros	$r = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$	h_0 = espessura inicial. h_1 = espessura final.
2	A projeção horizontal	$L = \sqrt{R^2 \left(\frac{\Delta h}{2} \right)^2}$ $L = \sqrt{R \cdot \Delta h}$	R = raio do cilindro. $\Delta h = h_0 - h_1$.
3	Logo pode se definir o ângulo de contato formado na entrada e na saída do material no cilindro.	$\sin \alpha = \frac{Lp}{R}$ $= \frac{\sqrt{R(h_0 - h_1)}}{R}$	
4	Para ângulos pequenos pode se reescrever a fórmula.	$\alpha = \sqrt{\frac{h_0 - h_f}{R}}$	
5	Deslizamento avante ou fator de escorregamento pode ser encontrado através da fórmula.	$S_f = \frac{v_f - v_c}{v_c}$	v_f = velocidade final. v_c = velocidade periférica.
6	Deformação verdadeira na saída da laminação	7 P	ode- se modelar a fórmula com o fator de



$e \neq$

h

1
 -
 h
 0
 h _____
 1

segurança obtendo essa fórmula

$$\varepsilon = 1.15 \ln \ln \frac{h_0}{h} \quad \frac{1}{1}$$

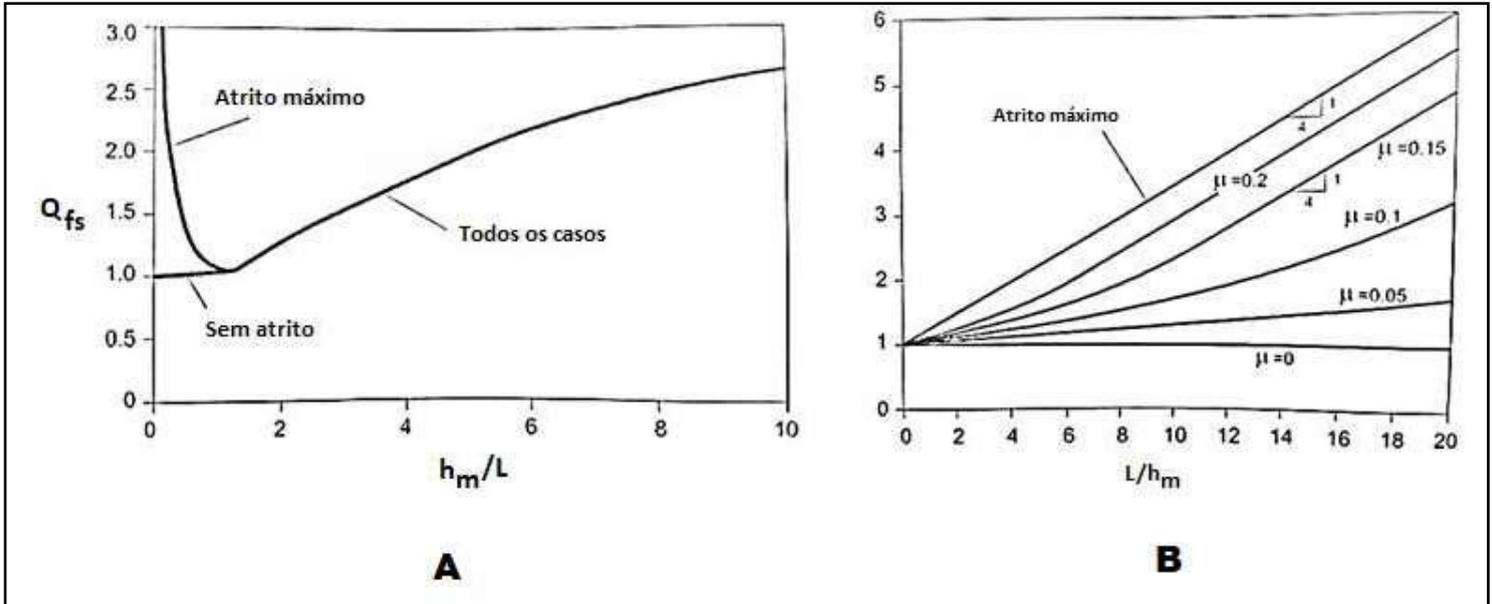
8	A deformação plástica.	$\sigma_{unif} = \frac{K \cdot \epsilon_1}{e + 1}$	ϵ_1 = deformação real. K = constante plástica de resistência. e = coeficiente de encruamento.
9	Deformação na Laminação	$e = 1 - \frac{h_0}{h_1}$	
10	Deformação Logarítmica	$\epsilon = \ln \ln \left(\frac{1}{1 - 0,5} \right)$	
11	Espessura média da laminação.	$hm = \frac{h_0 + h_1}{2}$	
12	Força de Separação	$Fs = \sigma_{unif} \cdot L \cdot w$	Q_{fs} = coeficiente de correção. w = Largura da chapa
13	Momento torção pode ser definido	$M = F_s \cdot L$	F_s = Força de separação. L = Projecção horizontal.
14	A potência da laminação é definida como.	$P = M \cdot w$	w = Velocidade Angular dos cilindros
15	Tensão – Deformação.	$\sigma = k \cdot \epsilon^e$	K = Constante plástica de resistência. ϵ = função da deformação real. e = coeficiente de encruamento.
16	A potência do motor.	$P_{Mot} = \frac{P_{Lam}}{N_{sist}}$	P_{Lam} = potência da Laminação. N_{sist} = Rendimento da transmissão.

Fonte:[3].

Para aplicação completa destas equações ainda se faz necessário encontrar o coeficiente de correção Q_{fs} , analisando a Figura 7, a qual contém dois gráficos na imagem o gráfico (A) utilizado quando $hm/L > 1$ e o gráfico (B) quando $hm/L < 1$ [3].

Nota se, que com a aplicação destes cálculos é possível verificar as principais variáveis envolvidas, principalmente a potência necessária para a execução do processo. Neste trabalho será aplicado estas para checagem se o motor escolhido atenderá a demanda projetada.

Figura 7: Gráficos aplicados para determinação do coeficiente de correção.



Fonte: [2].

2. METODOLOGIA

Para a elaboração do trabalho foi realizada inicialmente uma pesquisa bibliográfica para elaborar o referencial teórico. Sendo que para iniciar o estudo deste projeto foram analisados laminadores de cunho industrial e também de menor porte como os utilizados em joalherias, o qual tem muita semelhança com o que será projetado [2].

O dimensionamento dos componentes presentes no laminador partiu das especificações de um motor de referência com potência limitada a 1 CV, definido com a premissa de menor custo, através de pesquisas e análise das condições de partida em função das instalações reais do laboratório. Os esforços de laminação previstos na literatura, o dimensionamento dos cilindros de laminação, caixa redutora entre outros componentes foram calculados e verificados em função da potência do motor, em concordância com a estimativa final do esforço de laminação dado pela literatura. Ao final do dimensionamento foi efetuada a confecção do esboço final do laminador e execução do projeto executivo.

Após a definição do escopo do projeto, utilizou-se de planilhas e tabelas para organização das ações e tarefas elaborando um cronograma de Gantt no software Microsoft Excel®, para o melhor entendimento, auxiliando na gestão a fim de estabelecer metas e prazos para atingir com êxito o projeto.

Para a execução do projeto foram utilizados os softwares Solidworks® e AutoCAD®, nos quais foram realizados os detalhamentos necessários de cada componente envolvido no equipamento. Com o uso das ferramentas disponíveis nos softwares e da execução dos cálculos envolvidos foi possível especificar todos os elementos mecânicos envolvidos.

No Solidworks® desenvolveu-se a parte de desenho dos componentes e montagem dos mesmos em 3D e em vista explodida para melhor visualização dos componentes. O AutoCAD® se fez necessário para a confecção das peças transformando o arquivo planificado SLDPRT (Solidworks®) para DXF (AutoCAD®). Após isso no AutoCAD® separa as peças por espessura de chapa e monta se as peças no tamanho das chapas definidas, no caso com as dimensões de 1200mm x 3000mm ou possíveis retalhos (sobra de chapa) que compoem o tamanho das peças. Salva se o arquivo e posteriormente para a etapa de fabricação, pode

se abri-lo em algum software de máquina de corte do tipo Plasma, como o Sheetcam®, no qual será necessário apenas configurá-lo com a espessura da chapa e enviar para a máquina de Corte Plasma.

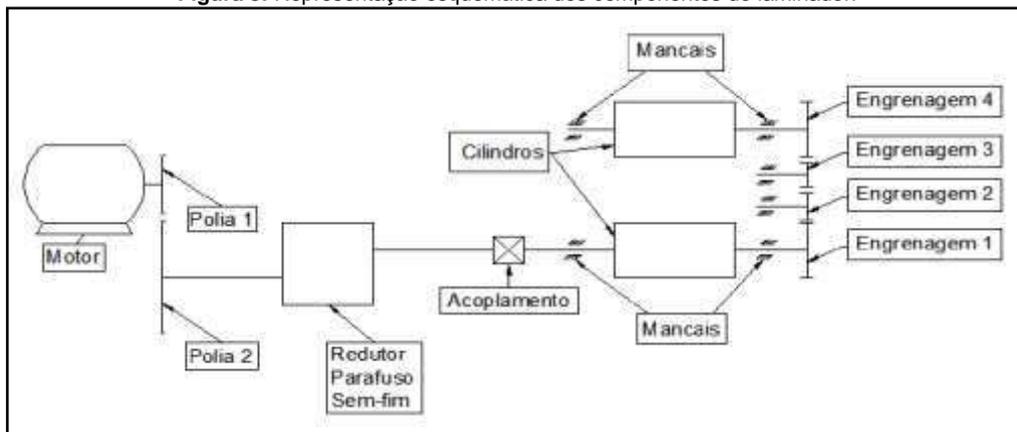
2.1. Concepção do Projeto

O laminador de bancada didático para materiais não ferrosos foi projetado exclusivamente para a utilização em instituições de ensino superior – recursos didáticos a serem aplicados nas disciplinas, não sendo recomendado para outros fins. Sua vantagem se destaca no tamanho e peso, gerando facilidade na locomoção, além de possibilitar um custo financeiro significativamente menor se comparado com um laminador industrial.

A etapa de dimensionamento e especificação dos componentes do laminador de bancada envolveu os elementos principais do mesmo, sendo: chapa, cilindros, polias, sistema de transmissão, mancais e rolamentos.

Os principais componentes do equipamento estão distribuídos no esquema elaborado de transmissão da máquina apresentada na Figura 8, sendo um esquema representativo do projeto.

Figura 8: Representação esquemática dos componentes do laminador.



Fonte:[2].

Vale ressaltar que para executar os cálculos foi considerado a necessidade de o laminador girar a uma velocidade angular inferior a 50 rpm, conforme recomendações da literatura [2,3]. A seguir será apresentado o detalhamento desta etapa.

2.2. Premissas para seleção do Motor e Redutor

O motor e o redutor utilizados no trabalho, foram selecionados a partir da premissa de custo, visando uma menor potência possível para o equipamento. Através das pesquisas em catálogos e análise de sistema partida, foram definidos os mesmos. As especificações do motor selecionado estão nas Tabela 3.

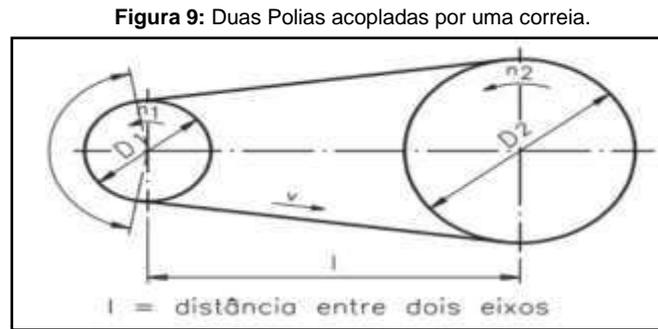
Tabela 3: Características do motor.

Norma	ABNT NBR 17094	Potência	1 cv
Frequência	60 HZ	Fixação	Com pés
Tensão	220/380V	Flange	Sem
Número de pólos	4	Forma construtiva	B3D
Grau de proteção	IP55	Caixa de ligação	Posição esquerda
Rotação síncrona	1800 rpm	Refrigeração	IC411-TFVE

Fonte:[15].

2.3. Dimensionamento das polias e correias.

O dimensionamento das polias foi baseado também a velocidade angular necessária a laminador e para tanto foi aplicada a teoria física do movimento circular, mostradas na Figura 9 e as equações pertinentes mostradas na Tabela 4.



Fonte:[16].

Na tabela 4, é destacada as equações do número 17 ao 23 estão relacionados ao dimensionamento das polias motora e movida, e a relação de transmissão durante o desempenho do laminador quanto a trajetória de cada um desses componentes do laminador duo.

Tabela 4: Equações das polias e Correias.

Número	Descrição	Equação	simbologia
17	A velocidade periférica da polia motora é	$v_1 = \frac{\phi_1 n_1 \pi}{60}$	$n_1 =$ Rotação do motor. $\phi_1 =$ Diâmetro da polia menor.
18	Analogamente, para a polia movida, temos a rotação.	$n_2 = \frac{\phi_1 n_1}{\phi_2}$	$n_2 =$ Rotação da polia m.
19	Velocidade periférica de	$v_2 = \frac{\phi_2 n_2 \pi}{60}$	
20	Relação de transmissão i	$i = \frac{\phi_2}{\phi_1} \frac{n_1}{n_2}$	
21	A força tangencial F_t	$F_t = \frac{\pi P}{30 n_1 r_1}$	$P =$ Potência do motor. $r_1 =$ Raio da polia motora
22	Torque na polia motora	$M_1 = F_t \cdot r_1 = \frac{77P}{n_1}$	
23	Admitindo que não a deslizamento Força tangencial F_t	$F_t = \frac{M_1}{r_1} = \frac{M_2}{r_2}$	



5º Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias
17 a 19 de maio de 2021
Anápolis, GO - UniEVANGÉLICA

Fonte:(Do Autor, adaptado [7]).

2.4. Seleção do redutor

Os redutores de velocidade são dispositivos mecânicos que podem ser acionados por um motor elétrico, hidráulico, de combustão ou turbina a vapor e proporcionam alto desempenho de rotação nos equipamentos na indústria. Os redutores de velocidade possuem diversas funcionalidades, isso por si só já é uma grande vantagem. Ele faz o ajuste de funcionamento entre torque, rotação e velocidade, auxilia no aumento da produtividade, diminuição de custos [15].

Novamente com base na consideração limite de rotação do laminador, identifica se e selecionou se um redutor de 1:20, o qual atenderá as necessidade do projeto. Nas tabelas 4 e 5, são mostradas as características do redutor selecionado.

Tabela 4: Especificações do Código do Redutor de Velocidade

Redutor tipo Coroa e Rosca Sem Fim	ERV
Distância de Centro entre a entrada e a saída do redutor (mm)	061
Redução	1:20
Forma Construtiva do Redutor	N1
Potência Máxima Permitida do Motor que pode acionar o Redutor	1cv (0,75kw)
Velocidade Máxima Permitida do Motor que pode acionar o Redutor	Até 1800rpm (4P)

Fonte:[15].

Tabela 5: Dados Técnicos do Redutor de Velocidade

Rotação na entrada do redutor	1800 rpm
Redução	20
Rotação na saída do redutor	90 rpm
Potência máxima permitida no redutor	1cv (0,75kw)
Torque na saída do redutor	54,71Nm (5,58kgfm)
Carga que o redutor consegue erguer com diâmetro de 100 milímetros na saída	112 kg
Carga Radial que o redutor suporta	220 kg
Carga Axial que o redutor suporta	110 kg
Fator de velocidade com até 1800 rpm de entrada e carga moderada	1
Fator de Partida com até 10 arranques por horas e carga moderada	1
Fator de serviço com tempo de trabalho de até 10 horas por dia e carga moderada	1
Viscosidade do óleo utilizado no redutor em temperatura de até 40°C DIN51519	460
Quantidade de óleo	0,4 Litros
Rendimento	0,701
Peso aproximado do redutor	11,5 kg

Fonte:[15].

2.5. Seleção dos Parafusos

O parafuso é um elemento metálico com cabeça (alguns não possuem) e corpo com fixação através de rosca. É aplicado para fixação não permanente de peças variadas que possam ser facilmente montadas e desmontadas.

O parafuso sextavado possui um grande leque de aplicação, em parte, pela facilidade como ele pode



5º Simpósio Nacional de Ciências e Engenharias
17 a 19 de maio de 2021
Anápolis, GO - UniEVANGÉLICA

ser inserido e parafusado. O material de que é feito é o aço carbono, pois possui boa resistência contra cargas

e normalmente recebe o revestimento de zinco, conferindo boa resistência contra a corrosão. Considerando que, em funcionamento, o parafuso escolhido é um sextavado ½ polegada no motor e nas proteções 5/16 de aço carbono revestido de ferro zincado.

2.6. Definição das Características dos Corpos de Provas a serem aplicados no laminador

O Laminador de Bancada foi projetado para 4 materiais específicos, apresentados nas Tabelas 6 a 9, a seguir, que trazem suas respectivas características, sendo de vital importância saber sobre o material utilizado para corpos de prova, principalmente para possibilitar o correto dimensionamento.

Tabela 6: Alumínio AA 100-0.

Descrição:	Resistência mecânica baixa; Resistência à corrosão alta; Condutibilidade térmica e elétrica elevadas; Conformação mecânica fácil; Soldabilidade boa.
Aplicação:	Indicação: Estampagem; Utilização: Luminárias, tanques e cubas não estruturais nas indústrias químicas e alimentícias; Produtos empacotados (tubos bisnaga e aerossol); Painéis decorativos; Utensílios domésticos; Peças estampadas; Aletas; Uso geral.
Condutibilidade Elétrica:	56 % I.A.C.S
Condutibilidade Térmica:	0,52 - 0,56 cal/cms°C
Densidade:	2,71 g/cm ³
Expansão Térmica:	24x10 ⁻⁶ x 1/°C
Módulo de Elasticidade:	64000 - 69000 Mpa
Ponto de Fusão:	658°C
Limite de resistência:	90 - 142 Mpa
Limite de escoamento:	90 - 115 Mpa
Alongamento:	3 - 9 %
Dureza:	32 Brinell
Têmpera:	1/2 D

Fonte:[7].

A leveza é uma das principais características do alumínio. Seu peso específico é de cerca de 2,71 g/cm³, aproximadamente 35% do peso do aço e 30% do peso do cobre. Resistência à corrosão: O alumínio possui uma fina e invisível camada de óxido, a qual protege o metal de oxidações posteriores [7].

Tabela 7: Alumínio 6061-0.

Descrição:	Resistência mecânica alta; Resistência à corrosão alta; Conformação mecânica fácil; Soldabilidade boa.
------------	--

Aplicação:	Estruturas submetidas a elevadas tensões; Construções navais; Veículos; Equipamentos elétricos; Rebites; Peças de precisão.
Condutibilidade Elétrica:	40 % I.A.C.S
Condutibilidade Térmica:	0,37 cal/cms°C
Densidade:	2,71 g/cm ³
Expansão Térmica:	24x10 ⁻⁶ x 1/°C
Módulo de Elasticidade:	69000 Mpa
Ponto de Fusão:	- 650°C
Limite de resistência:	304 Mpa
Limite de escoamento:	277 Mpa
Alongamento:	16 %
Dureza:	90 a 110 HB
Têmpera:	T6 / T651

Fonte:[7].

O laminador de cobre possui pequenos cilindros de trabalho, combinados com funções de controle de forma que incluem flexão do cilindro de trabalho, flexão do cilindro intermediário, deslocamento do cilindro usando rolos retos sem cambagem e um sistema de resfriamento spot.

Tabela 8: Cobre (99,94%).

Descrição:	Alta Condutividade Elétrica.
------------	------------------------------

Aplicação:	Cabos, condutores para linhas aéreas, enrolamentos de motores, geradores, transformadores, componentes de rádio e tv, interruptores, terminais elétricos, cabos axiais, caldeiras, tachos, tanques, trocadores de calor, radiadores, pregos e rebites, etc.
Condutibilidade Elétrica:	95 - 100 % I.A.C.S
Condutibilidade Térmica:	0,94 cal/cms°C
Densidade:	8,90 g/cm ³
Ponto de Fusão:	1083 °C<
Limite de escoamento:	220 Mpa

Alongamento:	50 Mpa
Dureza:	48 %
Têmpera:	45 HB

Fonte:[7].

As chapas de latão são lâminas com superfície plana que possuem largura e formato variável. O produto final é obtido através da passagem do latão entre dois cilindros, quente e frio, para que as mais diferentes espessuras sejam alcançadas. 50% ou mais de liga de cobre, de 3% a 45% de zinco, esta é a receita para quem busca realizar o processo de fundição do latão para chegar até a chapa de latão.

Tabela 9: Latão 70 cu – 30 zn.

Descrição:	Conformabilidade a quente razoável; Conformabilidade a frio excelente; Métodos de junção: Soldagem fraca excelente; Brasagem excelente; Soldagem oxiacetilênica boa; Soldagem a arco com eletrodo revestido não recomendada.
Aplicação:	Químicas: permutadores de calor para água doce, limpa evaporadores e aquecedores de caldo em usinas de açúcar, corpos de extintor de incêndio. Elétricos: estojos para faroletes, refletores, receptáculos de lâmpadas.
Condutibilidade Elétrica:	28% I.A.C.S
Condutibilidade Térmica:	0,29 cal/cms°C
Densidade: 8,55 g/cm ³	8,55 g/cm ³
Expansão Térmica:	20%
Ponto de Fusão:	965°C
Limite de resistência:	400 - 480 Mpa
Dureza:	120 - 135 Brinell
Têmpera:	1/2 D

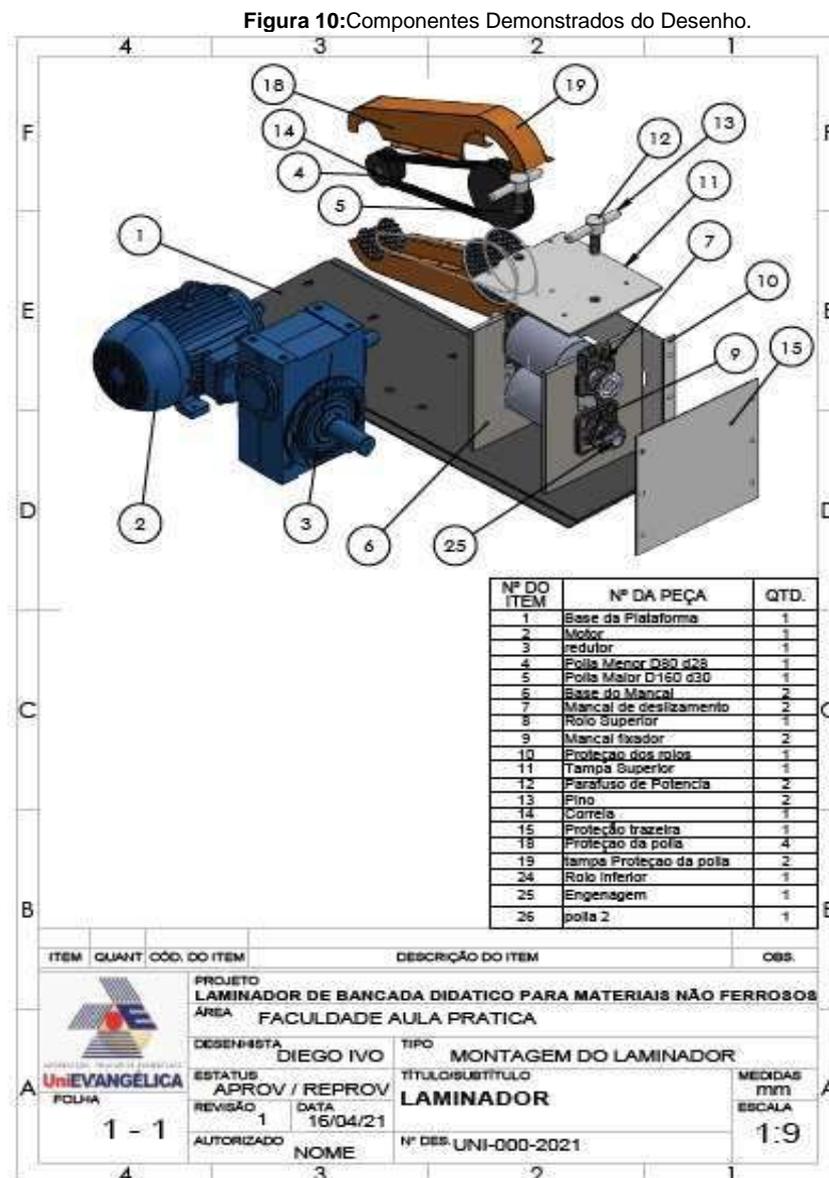
Fonte:[7].

As informações mostradas nas tabelas anteriores de cada material têm muita importância, já que em todo experimento e procedimento que for realizado precisa-se conhecer o material utilizado para a realização das fórmulas e nas futuras aulas com a sua construção gerando assim um gráfico para cada material ou corpo de prova específico.

3 RESULTADOS

3.1 Apresentação do Projeto Executado no Solidworks®

Para fazer a interação entre o motor e laminador, foi construído um modelo tridimensional, conforme apresentado na Figura 10. A modelagem do motor ocorreu através de análises dimensionais realizadas nos componentes existentes. Os demais itens foram desenvolvidos através das necessidades observadas para o projeto, exposto na vista explodida, acompanhando a identificação dos elementos utilizados no projeto.



Fonte:(Dos Autores).

Ressalta se que este foi construído, respeitando o dimensional dos elementos envolvidos e com o uso do próprio software foi possível selecionar os elementos restantes.

3.2 Resultados dos Cálculos de Dimensionamento do Principais Elementos

Com base nas informações apresentadas na etapa de metodologia do trabalho foi realizado o dimensionamento dos principais elementos do projeto, nos quais foram aplicadas as equações já expostas nas tabelas 2 e 4. Os resultados destes são apresentados nas Tabela 10, 11, 12 e 13 a seguir.

Tabela 10: Resolução dos Cálculos do Projeto.

Número das Equações	Resultados	Obs:
1	$r = 0,33 \text{ mm}$	
2	$\Delta h = 2 \text{ mm}$	
2	$L = 1095 \text{ mm}$	
3	$\alpha = 1052$	
9	$e = 0,333 \text{ mm}$	
10	$\varepsilon = 0,4049$	
6	$\varepsilon = 0,46628$	
11	$hm = 5 \text{ mm}$	
12	Os Resultados se encontram na tabela 12	Para Encontrar o valor do Q_{fs} utilizar la figura 6.
8	Os Resultados se encontram na tabela 11.	Cada material tem o valor específico
13	Os Resultados se encontram na tabela 12.	Cada material tem o valor específico
14	$w = 7,06$	
14	Os Resultados se encontram na tabela 12.	Cada material tem o valor específico
17	1455 m/s	
18	3474 rpm	
19	1543 m/s	
20	$0,5:1$	
23	110 N	

Fonte:(Dos Autores).

Na tabela 11, apresenta-se os dados da constante plástica de resistência e coeficiente de encruamento pode se encontrar tabelado ou fazer a realização dos cálculos, utilizando a primeira opção apresentada abaixo.

Tabela 11: Constante plástica de resistência e coeficiente de encruamento.

Material	Constante plástica de resistência (K)	Coeficiente de encruamento
Alumínio AA1100-0	180	0,20
Alumínio 6061-0	205	0,20
Cobre (99,94% cu)	405	0,33
Latão 70cu – 30 zn	895	0,49

Fonte:(Dos Autores).

A tabela 12, identifica os resultados da deformação na região plástica e tensão média efetiva com base nas informações adquiridas.

Tabela 12: Curva de tensão e tensão media efetiva.

Material	Curva de tensão – deformação na região plástica σ	Tensão média efetiva (σ_{unif}) (MPA)
Alumínio AA 1100-0	$\sigma = \frac{180 \cdot \epsilon^{0,2}}{12}$	128,42
Alumínio 6061-0	$\sigma = \frac{205 \cdot \epsilon^{0,2}}{12}$	146,25
Cobre (99,94% cu)	$\sigma = \frac{450 \cdot \epsilon^{0,33}}{1,33}$	261,86
Latão 70cu – 30 zn	$\sigma = \frac{895 \cdot \epsilon^{0,49}}{1,49}$	410

Fonte:(Dos Autores).

Identifica-se na Tabela 13, a força de separação, momento torçor e potência da laminação informações ideias para a escolha do motor a ser utilizado além da utilização dos resultados em outras contas.

Tabela 13: Resolução do momento torção e potência da Laminação.

Material	Força de separação (KN).	Momento Torçor (NM)	Potência da laminação (W)
Alumínio AA1100-0	140,62	1,54	7,26
Alumínio 6061-0	160,15	1,75	8,25
Cobre (99,94% cu)	261,86	3,14	14,80
Latão 70cu – 30 zn	412,4	4,74	22,34

Fonte:(Dos Autores).

Ressalta se que as tabelas apresentadas são interligadas, pois cada resultado obtido é utilizado nas fórmulas sendo apresentadas ao longo deste projeto.

Com base nos cálculos realizados observa se que a potência de laminação calculada para o latão, foi a maior e, portanto, como o motor selecionado é de 1cv ou 736W atende com folga as necessidades do equipamento.

3.3 Elaboração da Lista de Matérias selecionadas para a Confecção do Laminador.

A partir dos dimensionamentos dos principais elementos envolvidos e da seleção dos materiais necessários foi elaborada a lista completa destes, mostrada na Tabela 14.

Tabela 14: Lista de Materiais.

Descrição	Quantidade	Dimensões
Cilindro - 1 - aço1020	1	Ø120mm x 297mm
Cilindro - 1 - aço 1020	1	Ø120mm x 350mm
Engrenagem 16 Dentes, aço 1045	2	Ø42mm x 35mm
Engrenagem 22 Dentes, aço 1045	2	Ø42mm x 35mm
Motor 1 cv 4 polos WEG	1	
Redutor 1:20 WEG	1	
Polia com 2 canais Alumínio	1	Ø80mm x d22mm
Polia com 2 canais Alumínio	1	Ø160mm x d30mm
Rolamentos	4	Ø30mm
Mancal de deslizamento	2	T 206
Mancal	2	F206
Tarugo aço 1045 parafuso de potencia	2	Ø40mm x 100mm
Chapa Base 1020 ou 1045	1	9.54 - 1085mm x 400 mm
Base do mancal 1020 ou 1045	1	12 - 270mm x 330 mm
Proteção das polias 1020 ou 1045	4	2 - 700mm x 700mm
Proteção das engrenagens 1020 ou 1045	2	2 - 330mm x 314mm
Proteção dos Rolos 1020 ou 1045	2	2 - 330mm x 332 mm

Tampa Superior1020 ou 1045	1	4.76 - 310 mm x 270 mm
Parafuso sextavado	8	12.70 mm
Parafuso sextavado	12	5/16

Fonte:(Dos Autores)

O detalhamento das peças foi realizado no software Solidworks®, e estão expostas no anexo A, um exemplo deste. O trabalho contempla todas as peças.

3.4 Possibilidades de Aplicação do Projeto

A abordagem do tema originou-se da necessidade encontradas nas aulas práticas mecânicas dos sólidos, ciência dos materiais, mecânica dos sólidos e estruturas metálicas, fundição, conformação mecânica e tratamentos térmicos e termiquímicos que se encontram no curso de engenharia mecânica atualmente podendo-se estender para outros cursos ofertados pelas faculdades, além de servir como apoio para pesquisas em nível pós-graduação.

Considerando a importância do equipamento didático para a Instituição, recomenda-se a compra dos materiais e seguir com o projeto para a sua produção do equipamento, pois atende as necessidades do curso com um custo baixo.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, é possível dizer que o projeto executivo do laminador de bancada para materiais não-ferrosos está bem detalhado, levando em consideração que os resultados finais obtidos se aproximaram bastante dos resultados mostrados nas diversas literaturas estudadas, demonstrando viabilidade nos aspectos econômico, didático e técnico.

Exalta-se aqui também o grande aprendizado que todos os envolvidos tiveram com a aplicação dos conhecimentos ora estudados ao longo do curso e o desenvolvimento deste. Sendo que este tipo de trabalho agrega uma excelente bagagem profissional a ser desenvolvida no mercado de trabalho.

Sugere-se para etapa de fabricação, caso haja interesse da Instituição, que seja elaborado a lista de materiais com os devidos custos atualizados na data, buscando otimizar os materiais já disponíveis no Centro Tecnológico.

5 REFERÊNCIAS

- [1] BRESCIANI FILHO, Ettore. **CONFORMAÇÃO PLÁSTICA DOS METAIS**. 6. ed. São Paulo: Epusp, 2011. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- [2] COMPANHIA BRASILEIRA DE ALUMÍNIO (CBA). **Laminados de alumínio**. Disponível em: <https://docplayer.com.br/11504127-Laminados-de-aluminio.html> Acesso em: 16 nov. 2020 [1]
- [3] ANUNCIAÇÃO, Adenauer Junior; BADIA, Edimar. **Projeto e Execução de um Laminador de Bancada Para Materiais não Ferrosos**, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7331/1/PB_DAMEC_2016_2_01.pdf Acesso em: 17 nov. 2020 [3]

- [4] THE ALUMINUM ASSOCIATION. **Rolling Aluminum**: From the Mine Through the Mill. The Aluminum Association, 2008. Disponível em:
<https://www.aluminum.org/sites/default/files/Rolling_Aluminum_From_The_Mine_Through_The_Mill.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2020. [4]
- [5] PFA – Introdução à Conformação Mecânica. **Introdução à Conformação Mecânica - Conceitos Gerais**. Disponível em: <
http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Tecnologia_de_Fabricacao/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20a%20conform%C3%A7%C3%A3o%20mec%C3%A2nica.pdf> Acesso em: 20 nov. 2020
- [6] BRESCIANI, Ettore Filho; SILVA, Iris Bento Da Silva; BATALHA, Gilmar Ferreira; BUTTON, Sérgio Tonini. **Conformação Plástica Dos Metais**. 6. ed. São Paulo: EPUSP, 2011. Disponível em:
<<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/CONFORMACAOPLASTICADOSMETAIS.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020
- [7] METAIS, Império dos. **FICHA TÉCNICA DE MATERIAIS**. São Paulo: Império dos Metais, 2021. Disponível em: <https://www.imperiodosmetais.com.br/ficha-tecnica>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- [8] KRELLING, Anael. **Laminação**. Disponível em:
<<http://joinville.ifsc.edu.br/~anael.krelling/Tecnologia%20em%20Mecatr%C3%B4nica/PFB64/3%20-%20Laminacao.pdf>> Acesso em: 18 nov. 2020.
- [9] LINO, Paulo Sérgio Costa. **Poliás, Correias e Transmissão de Potência Blog Fatos Matemáticos**. Desconhecida: Digital, 2019. Disponível em: <https://engenharia360.com/wp-content/uploads/2013/05/PoliaseCorreias.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2020.
- [10] KENNEDY, Ferramentas. **Motor elétrico 2cv**. Desconhecida: Ferramentas Kennedy, 2020. Disponível em: <https://www.ferramentaskennedy.com.br/44055/motor-eletrico-2cv-4-polos-fechado-ip44-lynus-bivolt>. Acesso em: 04 dez. 2020.
- [11] **PROCESSO DE LAMINAÇÃO**. PUC RIO. Disponível em:<http://www2.dbd.pucRio.br/pergamum/tesesabertas/0412261_07_cap_02.pdf>. Acesso em: 22, abril de 2021
- [12] SICILIANO, Fulvio. **Recristalização em Altas Temperaturas**. São Paulo: International, 2000. 54 p. Disponível em:
<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fmoodle.stoa.usp.br%2Fmod%2Fresource%2Fview.php%3Fid%3D40527&psig=AOvVaw3kfoD9M-ZUV5z9fhCevoVP&ust=1619216700108000&source=images&cd=vfe&ved=0CAMQjB1qFwoTCICv1dLykvACFQAAAAAdAAAAABAJ>. Acesso em: 22 abr. 2021
- [13] SERRAMETAL. **Processo de Laminação**. São Paulo: Serrametal, 2020. Disponível em: <https://serrametal.com.br/processo-de-laminacao/>. Acesso em: 22 abr. 2021
- [14] SERRAMETAL. **Processo de Laminação**. São Paulo: Serrametal, 2020. Disponível em: <https://serrametal.com.br/processo-de-laminacao/>. Acesso em: 22 abr. 2021.
- [15] WEG. **W22 IR3 Premium 1 cv 4P 80 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B3D**. Jaraguá do Sul - Sc: Weg, 2020. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Usos-Gerais/W22/W22-/W22-IR3-Premium-1-cv-4P-80-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TFVE---B3D/p/11417378>. Acesso em: 20 abr. 2021.

- [16] LINO, Paulo Sérgio Costa. **Polias, Correias e Transmissão de Potência**. Desconhecido: Blog Fatos Matemáticos, 2013. Disponível em: <https://engenharia360.com/wp-content/uploads/2013/05/PoliaseCorreias.pdf>. Acesso em: 01 maio 2021.
- [17] PAULO, Escola Politécnica da Universidade de São. **Comportamento Mecânico dos Materiais – Parte I**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2014. 44 p.
- [18] PUTRIQUE JÚNIOR, Luiz. **PROJETO DE LAMINADOR DE BANCADA**. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Mecânica Engenharia Mecânica, 2017. 74 p.
- [19] A. JUNIOR, Adenauer; BADIA, Edimar. **PROJETO E EXECUÇÃO DE UM LAMINADOR DE BANCADA PARA MATERIAIS NÃO FERROSOS**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná Coordenação de Engenharia Mecânica Curso de Engenharia Mecânica, 2016. 109 p.
- [20] RUCKERT, Cassiuso.F. Terra. **Introdução aos Ensaios Mecânicos dos Materiais**. São Paulo: Desconhecida, 2018. 63 p.
- [21] LOVATO NETO, Carlos. **Simulação numérica da laminação a frio no laminador Sendzimir Número 2 da Acesita**. Minas Gerias: Desconhecida, 2006.
- [22] MORAIS, Willy Ank de. **Conformação Plástica dos Metais**. Desconhecida: Desconhecida, 2009. 70 p.
- [23] ALUMÍNIO, Associação Brasileira do. **Laminação**. São Paulo: Associação Brasileira do Alumínio, 2019. Disponível em: (<https://abal.org.br/alumínio/processos-de-produção/laminação/>). Acesso em: 22 abr. 2021.

6 Anexos A Exemplo de detalhamento dos componentes.

