



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS

CAMPUS MANAUS CENTRO

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

CURSO ENGENHARIA MECÂNICA

KALIL DE MELO SILVA

UTILIZAÇÃO DO NYLON EM FERRAMENTAS DE DOBRA DE TUBOS PARA  
CNC'S

MANAUS - AM

2020

KALIL DE MELO SILVA

UTILIZAÇÃO DO NYLON EM FERRAMENTAS DE DOBRA DE TUBOS PARA  
CNC'S

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal do  
Amazonas, Departamento  
Acadêmico de Processos Industriais,  
Curso de Engenharia Mecânica,  
como requisito parcial para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.

Orientador: Prof. Esp. Sidney Assis  
Chagas.

MANAUS - AM

2020

KALIL DE MELO SILVA

UTILIZAÇÃO DO NYLON EM FERRAMENTAS DE DOBRA DE TUBOS PARA  
CNC'S

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do  
Título de Engenheiro Mecânico e aprovado em sua forma final pelo Curso.

Aprovado em 28 de setembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

*(Assinado digitalmente em 06/05/2021 16:29 )*

SIDNEY ASSIS CHAGAS

*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*

*Matrícula: 1015898*

---

Prof. Esp. SIDNEY ASSIS CHAGAS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

*(Assinado digitalmente em 11/05/2021 13:26 )*

AILTON GONCALVES REIS

*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*

*Matrícula: 709656*

---

Prof. Dr. AILTON GONÇALVES REIS

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

*(Assinado digitalmente em 06/05/2021 20:34 )*

GUTEMBERGUE DA SILVA ARRUDA

*PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO*

*Matrícula: 1193663*

---

Prof. MSc. GUTEMBERG ARRUDA DA SILVA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM)

*Aos meus pais e irmã que acreditaram e me apoiaram em minhas decisões e que são os grandes responsáveis pelo sucesso das minhas conquistas.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por ter me guiado em todos os caminhos da vida que trilhei até aqui, especialmente, durante minha jornada acadêmica.

Aos meus pais Josiele e Nádia, por todo esforço e sacrifício feitos desde o ensino fundamental até agora, sempre me apoiando e me incentivando nos estudos.

Ao Instituto Federal do Amazonas, em particular ao Departamento Acadêmico de Processos Industriais, pela oportunidade concedida para a obtenção de conhecimento.

Ao meu orientador Prof. Sidney Assis Chagas, pelas orientações e contribuições importantíssimas para esta pesquisa, mas principalmente, por ter aceitado me orientar estando ciente das minhas limitações teóricas e metodológicas.

Aos Professores e Professoras do DPI pelas aulas enriquecedoras e relações de amizade construídas, em especial ao prof. Alberto Queiroga, que sempre me motivou bastante desde o primeiro período.

Aos colegas de turma que deram força, apoiaram e ajudaram a continuar nos momentos difíceis.

Finalmente, à minha futura esposa que investiu com o que podia em meus estudos nos últimos dois anos, bem como sua paciência e todo incentivo dado, sem a qual este trabalho não teria sido possível. Dedico-lhe os meus sinceros agradecimentos.

*"Sucesso é conseguir o que você quer; felicidade é gostar do que você conseguiu."*

Dale Carnegie

## RESUMO

O ramo industrial tem aprimorado seus processos de fabricação para fornecer produtos de qualidade, que atendem as exigências dos clientes. A mudança na demanda de produção, a necessidade de baixar custos e o comprometimento das empresas com a integridade física de seus colaboradores, gerou a oportunidade ao mercado de apresentar soluções que contribuem para a melhoria contínua dos processos produtivos. O presente trabalho surgiu a partir da necessidade de uma empresa do Polo Industrial de Manaus em buscar uma solução para atender o acréscimo de produção decorrente do surgimento de novos clientes. Diante da situação apresentada, o objetivo deste estudo é melhorar a eficiência da máquina de maneira não só produtiva, mas também segura. O desenvolvimento do projeto foi realizado por meio da aplicação da metodologia de pesquisa aplicada e projeto de produto. A utilização do nylon em ferramentas de dobras para CNC'S, tem como finalidade reduzir o índice de rejeição interna e, conseqüentemente, aumentar a qualidade do guidão dobrado, diminuindo o retrabalho e elevando a produtividade, já que não será mais necessário recuperar uma quantidade alta de guidões por defeito de risco nos mesmos. O resultado obtido com a identificação deste material adequado para a conformação de tubos foi plenamente satisfatório, pois desempenhou de forma eficaz sua função possibilitando o aumento de produtividade e qualidade do produto.

Palavras-chaves: Dobramento. Conformação. Guidão. Nylon. Propriedades Mecânicas.

## **ABSTRACT**

The industrial sector has improved its manufacturing processes to provide quality products that meet customer requirements. The change in production demand, the need to lower costs and commitment of the companies to the physical integrity of its employees, has created an opportunity to Market with solutions that contribute to continuous improvement of production processes. The present work arose from the need for a company in the Industrial Pole of Manaus to seek a solution to meet the increase in production resulting from the emergence of new customers. Before the situation presented, the objective of this study is the Development of a product capable of improving the efficiency of the machine in a way that is not only productive, but also safe. The development of the project was carried out through the application of the applied research methodology and product design. The use of nylon in folding tools for CNC's, aims to reduce the internal rejection rate and, consequently, increase the quality of the folded handlebars, reducing rework and increasing productivity, since it will no longer be necessary to recover a high amount of handlebars for risk defects in the same. The result obtained with the identification of this material suitable for forming tubes was fully satisfactory, as it effectively performed its function, enabling the increase in productivity and product quality.

Keywords: Folding. Conformation. Handlebar. Nylon. Mechanical properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tubos para guidões de motos e bicicletas .....	16
Figura 2 – Dobradeira de tubo manual .....	18
Figura 3 – Conformadora de tubos elétrica .....	19
Figura 4 – Dobramento por cunho móvel acionado por pistão hidráulico .....	20
Figura 5 – Dobramento por intermédio de rolos (calandragem) .....	21
Figura 6 – Representação esquemática de dobramento por compressão .....	21
Figura 7 – Representação esquemática de dobramento por estiramento .....	22
Figura 8 – Componentes de um processo de dobramento por estiramento CNC .....	23
Figura 9 – Representação esquemática da utilização de um mandril durante processo de dobramento .....	23
Figura 10 – Tipo de mandril para dobra .....	24
Figura 11 – Fabricação do guidão por etapas .....	25
Figura 12 – Representação da parede pós-dobramento .....	26
Figura 13 – Gráfico tensão x deformação.....	27
Figura 14 – Gráfico tensão x deformação com retorno elástico .....	27
Figura 15 – Área de contato e desgaste das ferramentas .....	28
Figura 16 – Etapas de implantação .....	36
Figura 17 – Roldanas móveis na posição para execução do processo .....	37
Figura 18 – O.P das roldanas.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades do Aço SAE 1010 .....	34
Tabela 2 – Propriedades do Nylon 6.6 .....	36
Tabela 3 – Comparação dos Índices de Rejeição do Guidão.....	40

## LISTA DE SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AISI American Iron and Steel Institute

API American Petroleum Institute

ASTM American Society for Testing and Material

DIN Deustaches Institute for Normuns

OP Ordem de Produção

SAE Society of Automotive Engineers

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
TUBOS METÁLICOS .....	16
DOBRAMENTO DE TUBOS.....	17
<b>Dobramento Manual</b> .....	17
<b>Dobramento Automatizado</b> .....	18
TIPOS DE DOBRAMENTO .....	19
<b>Dobramento por Movimento Axial de um Cunho Móvel</b> .....	19
<b>Dobramento por Intermédio de Rolos (Calandragem)</b> .....	20
<b>Dobramento por Compressão</b> .....	21
<b>Dobramento por Estiramento</b> .....	22
<b>Mandris</b> .....	23
PROCESSO DE CONFORMAÇÃO DO GUIDÃO .....	24
PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS.....	26
USO DO NYLON NO FERRAMENTAL .....	29
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	30
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	31
MATERIAL DO GUIDÃO E FERRAMENTAL CNC .....	32
IDENTIFICAR AS NECESSIDADES DO CLIENTE .....	33
CARACTERÍSTICAS DO NYLON .....	34
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	36
APRESENTAÇÃO FINAL DO PRODUTO.....	36
DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO .....	37
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

A competitividade entre as empresas para garantir a qualidade do produto estimula as organizações a buscar por inovações para melhorar o processo produtivo e proporcionar otimização do tempo disponível. A necessidade de adequar ou adquirir máquinas que preservem a integridade do colaborador, de modo a tornar o processo mais seguro e garantir a produtividade, é um desses estímulos. Um dos processos beneficiados por essa evolução tecnológica foi o de conformação de tubos, especialmente aqueles destinados a fabricação de guidões de motocicletas, que ganhou destaque com a chegada das máquinas conformadoras CNC. Porém, uma indústria deste segmento no Polo Industrial de Manaus está apresentando altos índices de peças rejeitadas justamente neste tipo de maquinário.

Compreender a logística e atrito entre ferramental da máquina e produto, será fundamental para o desenvolvimento da pesquisa. Sendo assim, é necessária coleta de dados, estudo dos conceitos de dobra e propriedade dos materiais, entre outros procedimentos.

Portanto, quais fatores estão impactando para aumento da rejeição dos guidões em conformadoras CNC?

A exigência de fabricação de guidões com qualidade e precisão faz com que empresas do ramo moto ciclístico adotem métodos que garantam o processo produtivo e seu rendimento. Um deles é a conformação de tubos (matéria-prima dos guidões) feita em conformadoras CNC, tornando o processo mais prático e fácil de operar. No entanto, em largas escalas de produção o desgaste das ferramentas desta máquina se torna maior e reduz sua vida útil, que conseqüentemente geram não conformidades no produto. Com isso há necessidade de retrabalho, o que ocasiona atraso na produção.

O presente trabalho propõe uma alternativa que consiste em encontrar um material cujas propriedades mecânicas se adequem melhor as condições de trabalho, com maior resistência ao desgaste e que seja possível atender as exigências da peça. Por não haver necessidade de troca de máquina ou implementação de itens adicionais ao processo, essa substituição de material do

ferramental das conformadoras CNC torna-se a opção ideal. Assim justificada a realização da pesquisa, cabe apresentar o objetivo geral de pesquisa, qual seja: "investigar dentre os materiais utilizados para conformação de tubos guidões em conformadoras CNC, os que melhor se adequam ao aperfeiçoamento da operação de dobramento". Desse objetivo decorrem três específicos:

- a) Estudar em literaturas o processo de conformação de tubos;
- b) Compreender o processo de formação do guidão de forma específica;
- c) Identificar material adequado para o ferramental da máquina CNC.

A metodologia de pesquisa respeita as características da pesquisa aplicada, que tem como foco gerar conhecimentos para aplicação prática, solucionando problemas específicos. Sendo assim, este trabalho é voltado para resolver um defeito de riscos em guidões de motocicletas, algo particular de empresas que trabalham com este produto. Este estudo também apresenta características da pesquisa explicativa, que procura identificar fatores determinantes ou contribuintes para determinado fenômeno, neste caso compreender o porquê da ocorrência deste defeito. Finalmente, como pesquisa de campo, precisou-se ir além de bibliografias, mas coleta de dados junto a pessoas envolvidas com o trabalho e também no próprio local de ocorrência com os dados fornecidos pela máquina.

Os resultados mostraram que a proposta de substituição do aço por outro material mais adequado ao processo - neste caso o nylon - foi aplicável e formidável, visto que os índices de qualidade melhoraram significativamente, assim como houve redução das rejeições internas.

Esperamos que esse trabalho apresente-se como um caminho para solução de problemas similares, pois não somente no distrito, mas em qualquer operação que envolva atrito de materiais, construções, resistência mecânica e entre outros fatores, a escolha de um material adequado e que potencialize de forma positiva o custo/benefício do projeto é muito importante e deve ser feita com cuidado, base pesquisa, boa fundamentação e testes para garantir o sucesso do empreendimento e da aplicação envolvida.

A disposição das ideias e discussões apresentada nesse trabalho pode ser assim apresentada:

No primeiro Capítulo – Introdução, detalhamos todas as características da pesquisa, isto é: a problemática, justificativa para a mesma e os objetivos deste trabalho, buscando a melhor solução para o problema. Também há uma breve menção da metodologia utilizada e dos resultados obtidos com esta pesquisa.

No segundo Capítulo – Referencial Teórico, foi feita uma revisão bibliográfica dos principais itens que norteiam este trabalho, dando um embasamento substancial para o mesmo.

No terceiro Capítulo – Metodologia, apresentamos o detalhamento dos procedimentos metodológicos aplicados na pesquisa.

No quarto Capítulo – Apresentação e Análise dos resultados, discutimos os resultados obtidos dentro da perspectiva esperada base a proposta inicial e seus métodos.

Por fim, as considerações finais fazem as últimas observações e comentários a respeito deste trabalho.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresentamos as fundamentações teóricas relacionadas com o presente estudo, com a finalidade de facilitar o entendimento do objetivo deste partindo do pressuposto que a aplicação de equipamentos ou acessórios que auxiliam a máquina operante a retirar seu máximo desempenho, torna-se característica fundamental para agilizar o processo de fabricação. A utilização de máquinas de Comando Numérico Computadorizado (CNC) vem desempenhando um papel fundamental no processo de automação, pois torna mais flexível o modo de operação, além de possibilitar melhor aproveitamento da mão de obra em outras atividades.

### TUBOS METÁLICOS

Os tubos metálicos possuem vasta extensão de utilização, podendo ser aplicados principalmente na construção civil, fabricação de móveis, peças do ramo automobilístico, conjuntos para o ramo agrícola. As peças produzidas a partir destes tubos são conformadas utilizando dobradeiras e calandras manuais, de acionamento elétrico, pneumático ou programável.

Figura 1: Tubos para guidões de motos e bicicletas



Fonte: Pinterest (2017)

A fabricação de tubos deve atender os requisitos das normas e especificações técnicas, além das especificações elaboradas pelos clientes. As características são determinadas conforme as principais normas *Deustaches Institute for Normuns* (DIN), *Society of Automotive Engineers* (SAE), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (ABNT), *American Iron and Steel Institute* (AISI), *American Petroleum Institute* (API). Os formatos dos tubos variam de acordo com a aplicabilidade do produto. Os mais utilizados são tubos de seção redonda, retangular, quadrada, triangular e oblonga (Vinicius Lampert, 2015).

## DOBRAMENTO DE TUBOS

O processo de dobramento de tubos é uma operação que exige uma série de aspectos que devem ser analisados, para que se possa obter um tubo dobrado sem que ocorram aspectos indesejados entre as curvaturas.

De acordo com Nayyar (2000), o dobramento de tubos pode ser feito de diversas maneiras, com ou sem aplicação de calor, com uso de máquinas ou mesas manuais. A escolha do método ideal depende de fatores como raio de dobramento, diâmetro do tubo, espessura da parede, módulo de elasticidade do material, coeficiente de encruamento, possíveis transformações de fase do material, disponibilidade de maquinário e fatores econômicos.

Existem duas maneiras de obter um tubo dobrado: realizando o dobramento manual ou dobramento através de máquinas.

### **Dobramento Manual**

No dobramento manual, o esforço de flexão é exercido manualmente, com o uso de ferramentas e dispositivos que auxiliarão a definição das curvaturas do tubo. Esse método é aplicado para fabricar peças que não possuem extremidade e grande dimensão, já que o processo se torna limitado, pois quanto maior for o diâmetro e espessura do material, mais difícil será dobrar (Isotref, 2020). As curvadoras de tubos manuais são basicamente compostas por

duas ferramentas, conforme Figura 2, conhecidas como matriz e morsa, que são trocadas de acordo com o diâmetro do tubo a ser curvado (Nayyar, 2000).

**Figura 2: Dobradeira de Tubo Manual**



Fonte: Loja do Mecânico (2020)

### **Dobramento Automatizado**

O dobramento com auxílio de máquinas é utilizado quando necessita o dobramento de peças com geometria complexa. O dobramento por máquinas permite dobrar tubos de seções redondas e não redondas, com variadas bitolas, sendo de raio fixo ou variado. Tais características serão possíveis de aplicar devido à mudança do conjunto de ferramentas na máquina, que por sua vez são semelhantes às ferramentas utilizadas em conformadora de tubos manuais. A única diferença é o incremento de acessórios que garantirão o perfeito curvamento do tubo, evitando principalmente a ovalização entre dobras. A grande vantagem de realizar o processo de dobramento utilizando máquinas é a produtividade e a garantia de tolerâncias dimensionais, podendo obter maior repetitividade e precisão constante, o que possibilita fabricar peças para diversas aplicações (Vinicius Lampert, 2015).

A maioria das máquinas possuem comandos elétricos e dispensam qualquer tipo de regulagem mecânica. Geralmente são integradas a um software de programação gráfica visual, que permite a simulação com análise de tempo

de ciclo, sinalização e eventuais colisões da máquina e do tubo. Um modelo de conformadora de tubos pode ser visualizado na Figura 3.

Figura 3: Conformadora de tubos elétrica



Fonte: BLM GROUP (2020)

## TIPOS DE DOBRAMENTO

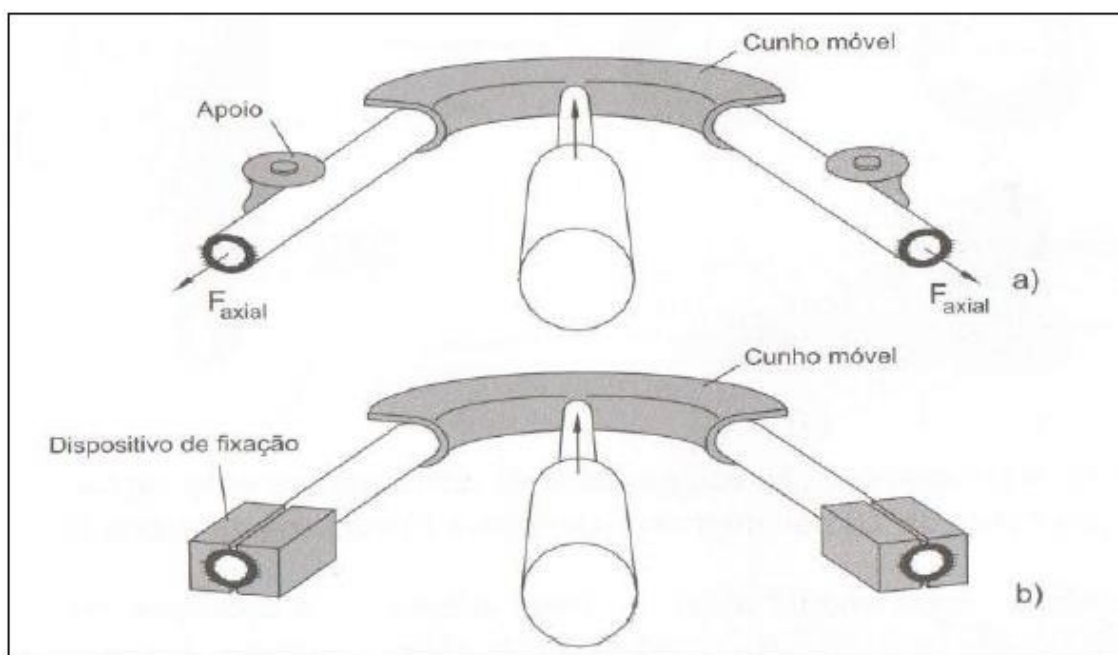
Os tipos de dobramento de tubos mais usuais a temperatura ambiente são: dobramento por movimento axial de um cunho móvel, calandragem, dobramento por compressão e dobramento por estiramento. (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

### **Dobramento por Movimento Axial de um Cunho Móvel**

Conforme esquematizado na figura 4, este processo de dobra é constituído por um cunho ou postiço perfilado, dispositivos de fixação e um pistão. Quando acionado, o pistão hidráulico conforma o tubo de acordo com o perfil do cunho, podendo ter variação nos apoios laterais, rolos ou calha fixa (dependendo da necessidade de área de apoio) e no modo de fixação do tubo na máquina, por apoio ou fixo através de dispositivos de fixação (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

As técnicas auxiliares nesse processo influenciam diretamente no acabamento da dobra, como por exemplo: enchimento do tubo com areia para inibir a deformação transversal à seção do tubo e recozimento prévio para normalização das tensões internas proveniente da laminação (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

Figura 4: Dobramento por cunho móvel acionado por pistão hidráulico. a) Controle por força axial de tração e b) Controle por extensão

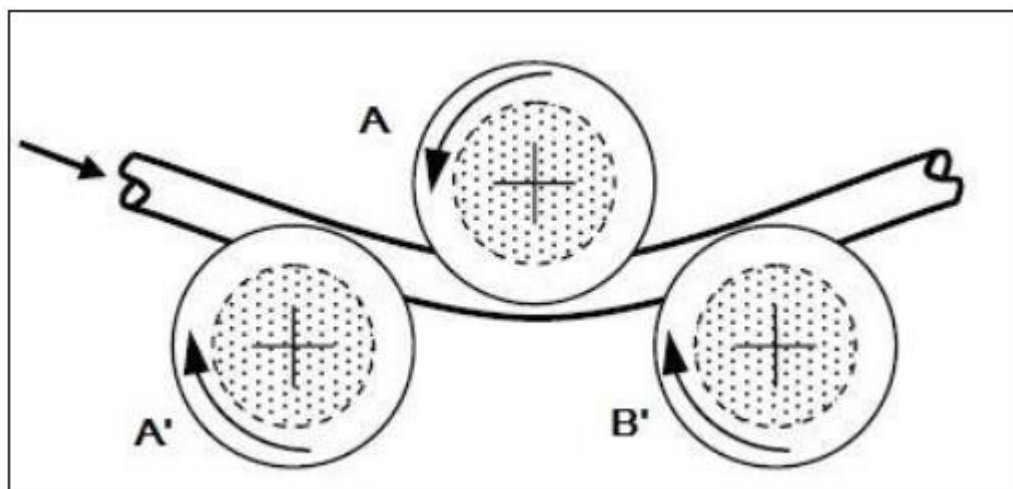


Fonte: Martins; Rodrigues (2005).

### Dobramento por Intermédio de Rolos (Calandragem)

O processo de calandragem constitui-se basicamente em rolos que conformam o tubo ou perfil, na medida em que a distância entre eles varia. No exemplo da figura 5, os rolos A' e B' apresentam eixos fixos e giram no sentido horário. O rolo A, possui eixo móvel e gira no sentido anti-horário, fazendo movimento linear vertical através de servo motor ou cilindros hidráulicos. Quanto maior aproximação do rolo móvel aos fixos, menor será o raio de conformação (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

Figura 5: Dobramento por intermédio de rolos (calandragem)

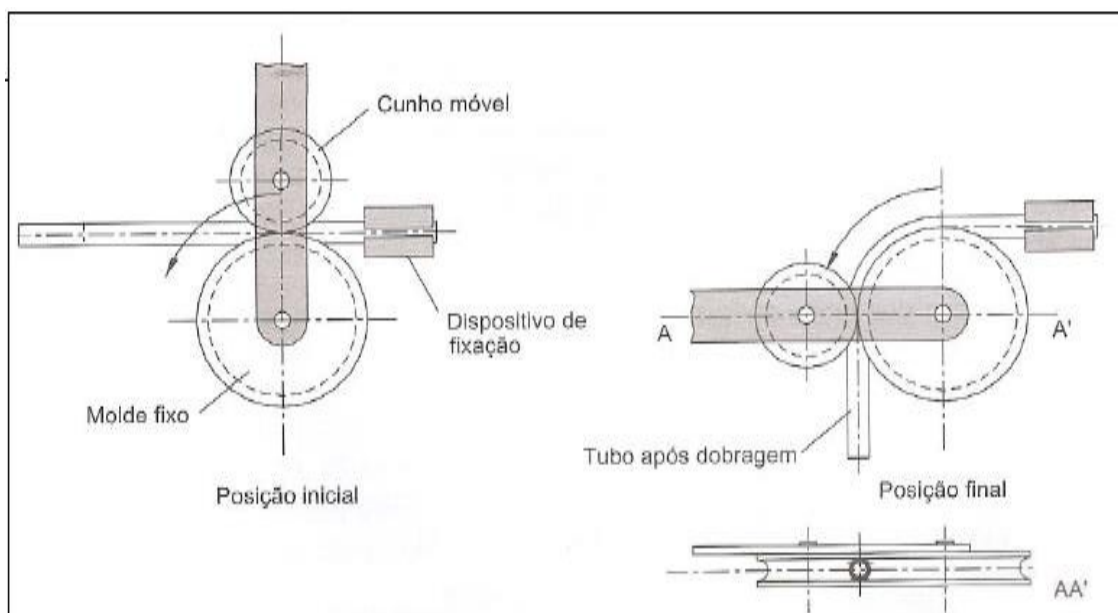


Fonte: Martins; Rodrigues (2005).

### Dobramento por Compressão

Esse processo baseia-se no giro tangencial de uma ferramenta móvel, em torno de um molde fixo, como mostra a figura 6. A forma de conformação depende exclusivamente do formato do molde fixo, que serve como guia e base para a ferramenta móvel (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

Figura 6: Representação esquemática de dobramento por compressão

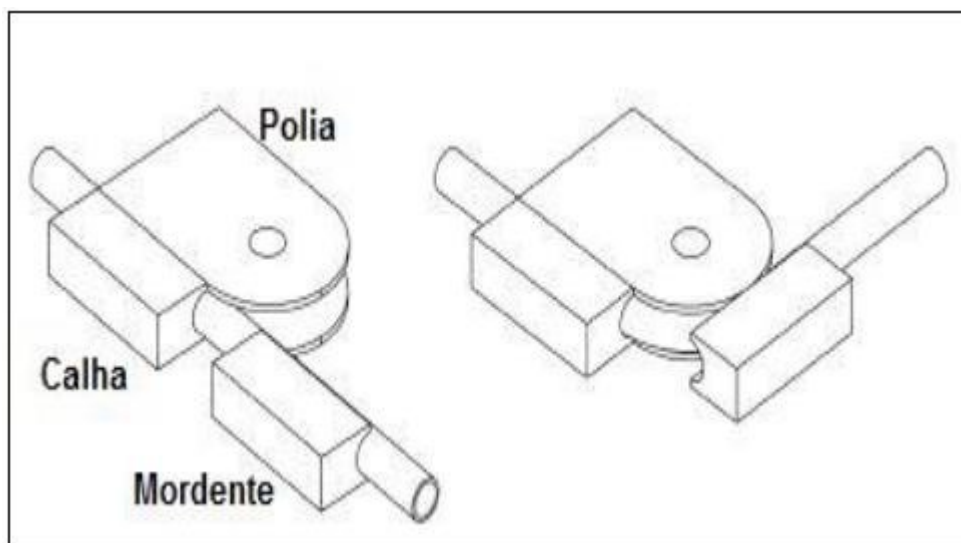


Fonte: Martins; Rodrigues (2005).

## Dobramento por Estiramento

No processo de dobramento por estiramento, o tubo é posicionado entre a polia, o mordente e a calha. Conforme demonstrado na figura 7, a calha apoia o tubo contra a polia. Já o mordente, ao ser acionado, perfila o tubo conforme o formato da polia (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

Figura 7: Representação esquemática de dobramento por estiramento

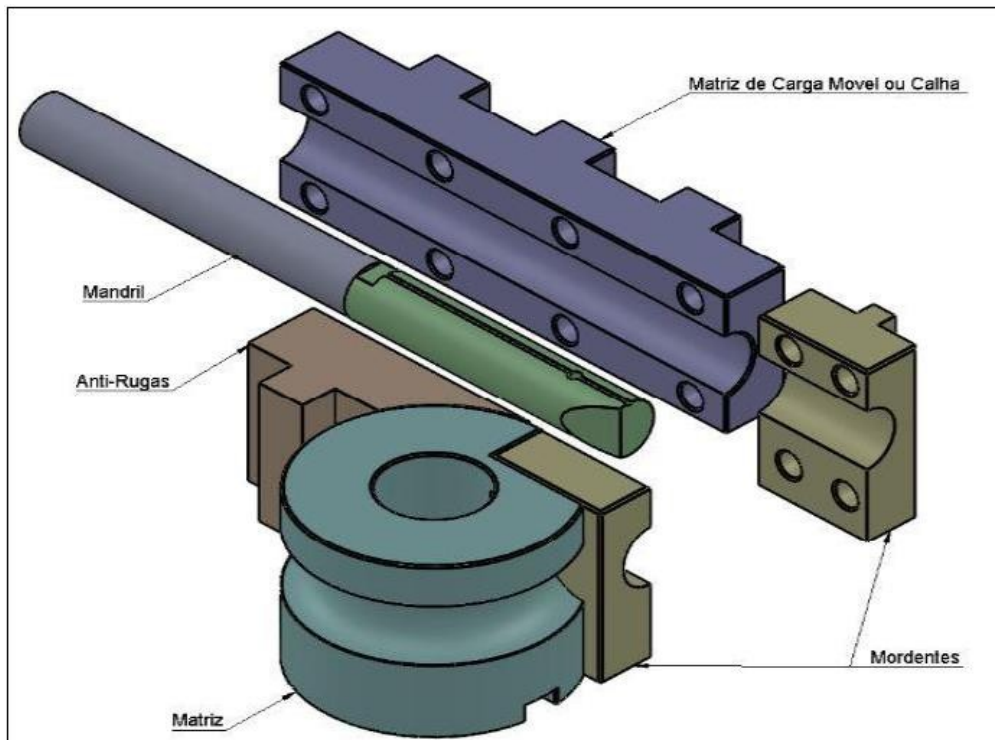


Fonte: Martins; Rodrigues (2005).

No processo via CNC, parâmetros relevantes como velocidades, pressão e força são definidos pelo programador, a fim de equalizar elementos dimensionais como, diâmetro e espessura de parede, com limites de resistência mecânica do material, estipulados pelos fornecedores.

Esse sistema habilita a inclusão de novos elementos ao processo de dobra, possibilitando o controle de movimentos, simultâneos ou intercalados, para otimização do processo. Os exemplos mais aplicados são: matriz de carga fixa, também chamada de “antirrugas” é posicionada fixa atrás da matriz para aumentar a base do ponto tangente à dobra e evitar a flambagem do material durante o dobramento, matriz de carga móvel, acompanha o tubo durante o movimento radial, ajudando no posicionamento vertical e horizontal do perfil, e mandris que ajudam internamente no posicionamento e acabamento da dobra, conforme esquematizados na figura 8.

Figura 8: Componentes de um processo de dobramento por estiramento CNC

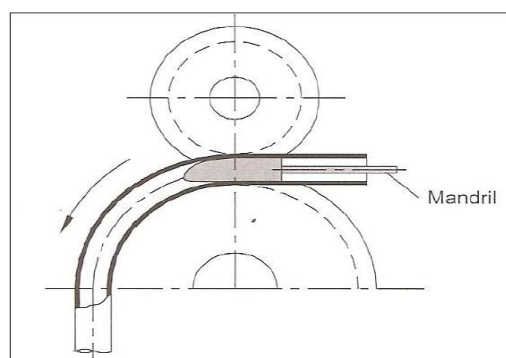


Fonte: Elaborada pelo autor (2020).

### Mandris

O tipo de mandril influencia diretamente na minimização das deformações na seção na região da dobra, como esquematizado na figura 9, atuando como guias internos no posicionamento, reprimindo o alargamento e a ovalização do perfil.

Figura 9: Representação esquemática da utilização de um mandril durante o processo de dobramento



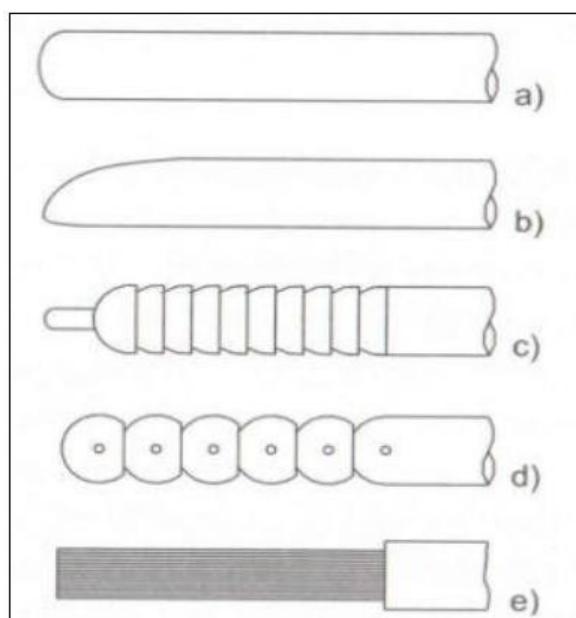
Fonte: Martins; Rodrigues (2005).

O mandril a ser utilizado deve ser determinado pelos seguintes parâmetros: ângulo de dobramento, diâmetro e espessura de parede do tubo.

Os tipos de mandris para perfis redondos conforme a figura 8 são:

- a) Mandril rígido Convencional;
- b) Mandril rígido com geometria ajustada ao início da curvatura;
- c) Mandril articulado construído por elementos esféricos que se encontram ligados entre si através de um cabo de aço;
- d) Mandril articulado construído por elementos esféricos que se encontram encaixados entre si;
- e) Mandril flexível construído por lâminas. (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

Figura 10: Tipo de mandril para dobra



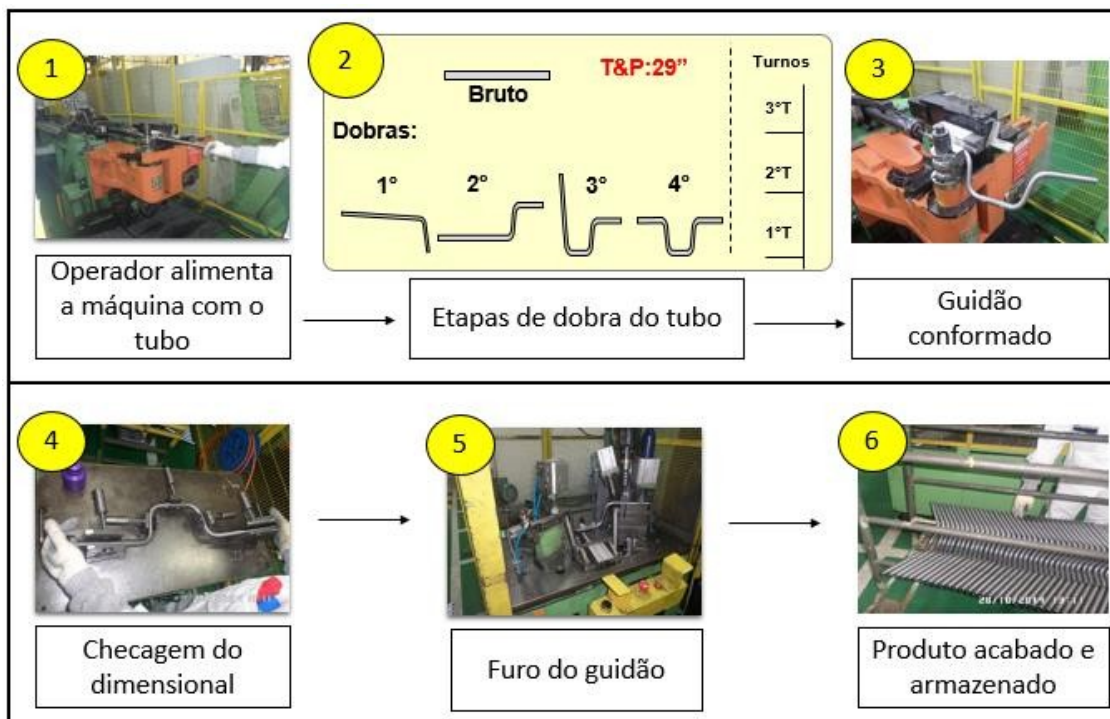
Fonte: Martins; Rodrigues (2005).

## PROCESSO DE CONFORMAÇÃO DO GUIDÃO

O guidão é uma peça cuja matéria-prima nada mais é que um tubo metálico. Por causa de sua grande produtividade, o processo mais adequado e mais utilizado pelas grandes empresas automobilísticas como Moto Honda LTDA e Yamaha, por exemplo, é o de conformação em máquinas dobradoras de tubo CNC's. A figura 11 nos mostra as etapas do seu processo de fabricação,

incluindo parâmetros como tempo de processo do produto (T&P) e quantidade de dobras.

Figura 11: Fabricação do guidão por etapas

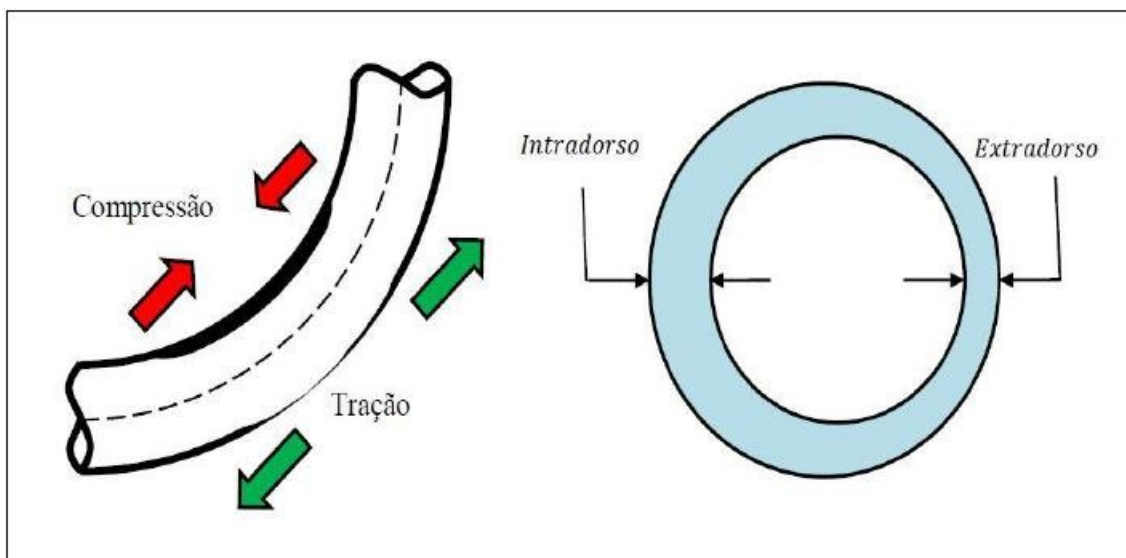


Fonte: Elaborada pelo autor (2019).

Em processos de conformação de tubos observa-se mudanças de geometria na região alterada plasticamente. Este efeito é prejudicial, pois descaracteriza o perfil circular e suas propriedades mecânicas. Normalmente o aumento da área de contato com a peça e o dimensionamento correto de mandris (em processos que possuam o recurso), tem um bom resultado de minimização desses efeitos (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

As alterações no perfil transversal em tubos dobrados representadas na figura 12, causam o efeito de encruamento no material e são separadas por um plano chamado “linha neutra”, que divide a seção em duas regiões: a região externa, “extradorso” sofre tração, causando uma diminuição na parede, já a região interna, “intradorso” sofre compressão consequentemente causando um aumento de espessura, podendo gerar rugas ou estrias (MARTINS; RODRIGUES, 2005).

Figura 12: Representação da parede pós-dobramento



Fonte: Hu (2000).

## PROPRIEDADES MECANICAS DOS MATERIAIS

Conforme já analisado anteriormente, a conformação do guidão possui peculiaridades que são inerentes ao seu processo. A elasticidade é uma propriedade específica de cada material, que se caracteriza pela tendência de um corpo que sofre uma carga ou força externa, voltar para sua forma original. Se após sofrer o esforço, o material voltar completamente à forma original, ele é denominado “perfeitamente elástico”, porém se o retorno não for total, caracteriza-se “parcialmente elástico”, sendo a deformação que permanece depois da retirada da carga denominada “deformação permanente”.

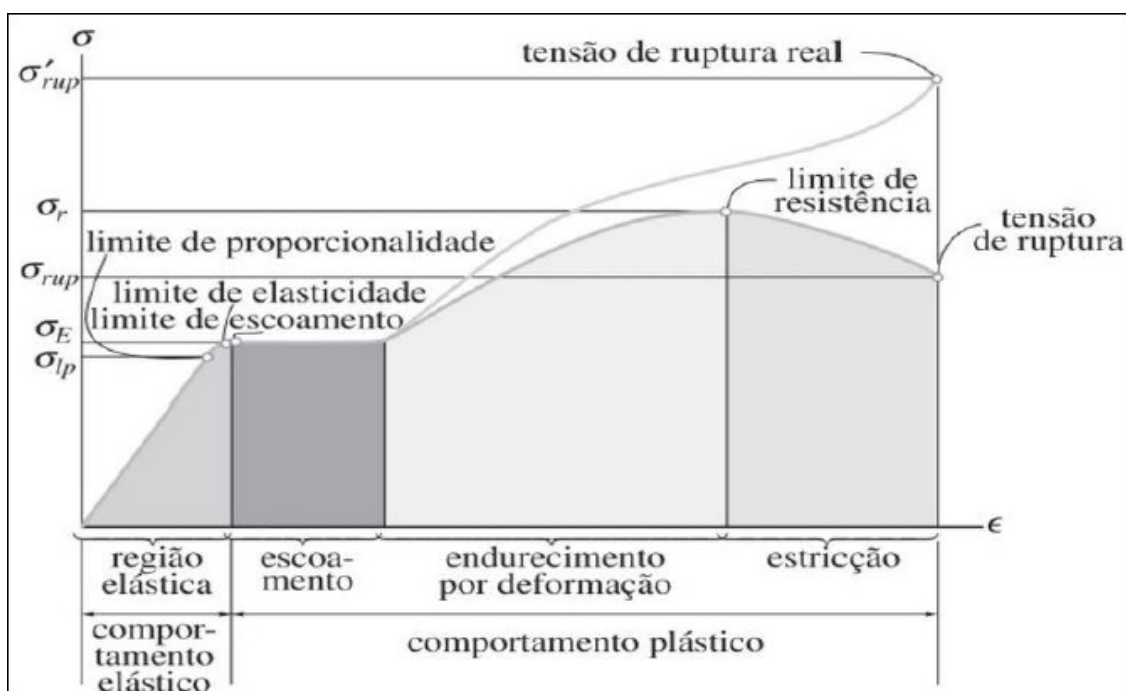
A deformação causada por uma força uniaxial aplicada sobre um corpo pode ser expressa conforme a equação 1, pela lei de Hooke:

$$\sigma = E \times \epsilon \quad (1)$$

Onde  $\sigma$  é a tensão em MPa,  $E$  o módulo de elasticidade ou módulo de Young, e  $\epsilon$  a deformação elástica.

A figura 13 representa uma ilustração comparativa do diagrama tensão-deformação convencional e real para materiais dúcteis (HIBBELER, 2004), como o aço SAE 1020, por exemplo, do qual é constituído o guidão.

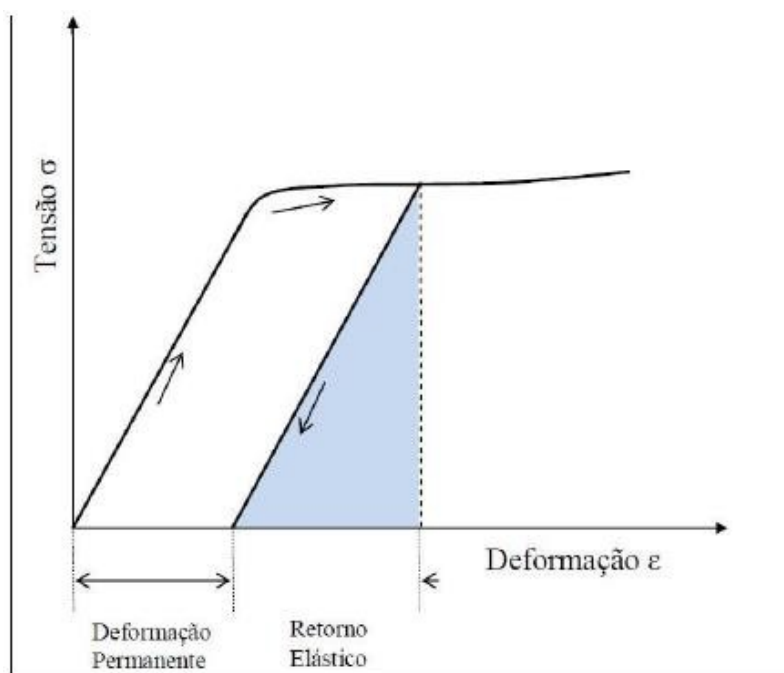
Figura 13: Gráfico tensão x deformação



Fonte: Hibbeler (2004).

A figura 14 demonstra esquematicamente o comportamento do retorno elástico após o corpo sofrer uma quantidade de força maior que sua fase elástica.

Figura 14: Gráfico tensão x deformação com retorno elástico

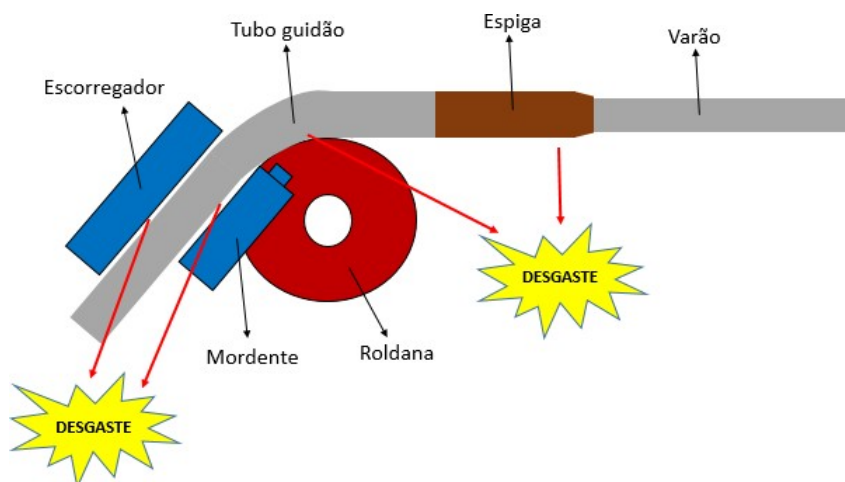


Fonte: Adaptado de Hibbeler (2004).

Os materiais dúcteis, baseado nos gráficos acima, possuem boa resistência mecânica, podendo sofrer grandes deformações plásticas até o momento de sua ruptura. Isto afeta diretamente na escolha do material com o qual as ferramentas da máquina CNC serão confeccionadas, pois elas devem ser resistentes ao desgaste assim como o tubo, mas também não podem ser feitas de material muito duro, causando sua quebra, deformidade no guidão e até mesmo acidente com o operador.

Essa escolha é muito importante porque além dos problemas citados anteriormente, há um bem recorrente em determinada empresa do Polo Industrial de Manaus que produz esse tipo de peça: riscos no guidão. Quando ferramentas como mordente, roldana, espiga e escorregador [conforme figura 15] começam a perder sua resistência pelo desgaste, o atrito entre as mesmas com o tubo gera estes riscos. É um problema que impacta diretamente na qualidade do guidão, causa constantes atrasos na produção e, conseqüentemente, não atendimento as metas, afetando toda a cadeia cliente-fornecedor.

Figura 15: Áreas de contato e desgaste das ferramentas



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

## USO DO NYLON NO FERRAMENTAL

Polímeros de PA, poliamida ou nylon, são fabricados sob forma de semiacabados padrões para usinagem, em chapas, tarugos e tubos. Há, muitas vezes, números associados ao tipo de nylon, tais como 6, 66, 12 e 46. Tais números são relacionados a estrutura molecular do polímero de nylon e cada tipo de estrutura terá diferentes propriedades. Os plásticos de poliamida mais comuns são o extrudado Nylon 6, PA 6 moldado e Nylon 66/PA66 (ENSINGER PLASTICS, 2020).

De forma geral, o Nylon PA é um termoplástico semicristalino com baixa densidade e alta estabilidade térmica. As poliamidas estão entre os termoplásticos mais importantes e úteis devido a sua excelente resistência ao desgaste, bom coeficiente de atrito e propriedades de temperatura e impacto muito boas. Além disso, as poliamidas apresentam uma boa resistência química e é um plástico especialmente resistente a óleo. Este excelente equilíbrio de propriedades faz do nylon um material ideal para substituição de metal em aplicações, como peças automotivas, válvulas industriais, isoladores de amarração ferroviária e outros usos industriais, cujos requisitos de design incluem alta resistência, tenacidade e redução de peso. O plástico de nylon exibe uma propensão a absorver umidade e, portanto, possui uma estabilidade dimensional mais pobre que outros plásticos de engenharia. As propriedades de poliamidas variam desde PA 66, duro e resistente, ao PA 12, macio e flexível (ENSINGER PLASTICS, 2020).

Dependendo do tipo, os produtos de poliamida absorvem diferentes quantidades de umidade, o que, por sua vez, afetará as propriedades gerais do nylon, além da estabilidade dimensional da peça.

As propriedades e especificações oferecidas pelo material PA são:

- Alta resistência ao desgaste;
- Alta estabilidade térmica;
- Excelente resistência e dureza;
- Características significativas de amortecimento mecânico;
- Boas propriedades de deslizamento.

### 3 METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é descrever a metodologia de pesquisa e os procedimentos metodológicos utilizados para o desenvolvimento do trabalho.

Consoante a Lehfeld (1991), a pesquisa é a inquirição, o procedimento sistemático e intensivo, que tem por objetivo descobrir e interpretar os fatos inseridos em uma realidade. Existem diferentes tipos de pesquisa, sendo classificados por sua abordagem, natureza, objetivos e seus procedimentos.

Em se tratando de abordagem, nossa pesquisa respeita as características da quantitativa, que para Fonseca (2002), pode ser entendida como aquela que:

[...] centra-se na objetividade e seus resultados podem ser quantificados. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros [...] (FONSECA, 2002, p. 20).

Assim, essa abordagem se coaduna com nosso trabalho uma vez que o mesmo busca apresentar possíveis meios para a solução para um problema produtivo crônico e, para tanto, é necessário que dados como quantidade de peças rejeitadas e valor monetário perdido com essa rejeição, bem como aquilo que foi ganho após solução do problema, sejam contabilizados para melhor compreensão dos fatos e exposição de resultados.

Quanto a sua natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, de acordo com Gil (2007), objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos a solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais. Nosso trabalho está voltado para solucionar um problema restrito de um setor em uma empresa moto ciclística do Polo Industrial de Manaus. Para tanto, é necessário saber determinados conceitos como o de conformação mecânica e como funciona uma dobradora de tubos CNC, por exemplo, para encontrarmos a solução mais adequada para a problemática.

Quanto aos objetivos, pode ser considerada como pesquisa explicativa, a qual, para Gil (2007) preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Assim, este trabalho tem como um dos principais focos a análise das causas de ocorrência da rejeição dos

guidões, envolvendo os conceitos de dobra de tubos e propriedade mecânica dos materiais, sendo os resultados obtidos consequências da correta identificação dos fatores determinantes para a problemática.

No campo de procedimentos, a pesquisa de campo caracteriza-se pelas investigações em que, além da pesquisa bibliográfica e/ou documental, se realiza coleta de dados junto a pessoas, com o recurso de diferentes tipos de pesquisa (pesquisa *ex-pos-facto*, pesquisa-ação, pesquisa participante, etc.) (Fonseca, 2002).

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Conforme o conhecimento adquirido a partir deste estudo, iniciaram-se as etapas e ações necessárias para o desenvolvimento e escolha do material capaz de dar mais qualidade ao processo de conformação de tubos e, conseqüentemente, aos guidões em questão, reduzindo a incidência de riscos nos mesmos.

Primeiramente é necessário conhecer as características do material do qual os guidões são feitos, a fim de entender suas particularidades. A partir deste conhecimento técnico adquirido, fez-se necessário conhecer as ferramentas de dobra em contato com o guidão e seus respectivos materiais, para checar suas especificações e funcionalidade, determinando melhor solução para o processo. Por fim, será realizada uma reunião com o cliente, nesta situação os responsáveis pela manutenção do equipamento e operadores de produção, com o objetivo de definir as características do projeto. Esta etapa é de suma importância, pois aqui é o momento de estabelecer os critérios necessários a serem avaliados.

Com as especificações do projeto definidas, as vantagens de trabalhar com o nylon constituindo as ferramentas de dobra serão testadas, comprovando assim sua importância no processo de dobramento.

Na etapa final, a função principal do produto será demonstrada apresentando princípios de solução, com o objetivo de estabelecer o melhor projeto e que condiz com as expectativas do cliente.

## MATERIAL DO GUIDÃO E FERRAMENTAL CNC

A pesquisa por informações técnicas deve apoiar-se na bibliografia disponível (artigos, livros, catálogos de máquinas) e em análise de sistemas técnicos semelhantes (FORCELLINI, 2006).

O aço SAE 1010 é um aço carbono com 0,10% de carbono. Esse aço possui uma relativa baixa resistência mecânica mas pode ser temperado e revenido para aumentar a sua resistência. Apresenta excelente conformabilidade e soldabilidade. Também é chamado de AISI 1010. AISI e SAE são entidades americanas que tem como objetivo classificar os materiais. Seu uso é geral, com destaque para fins estruturais e como fixadores (MATERIAIS GELSON LUZ, 2017). Dentre as propriedades mecânicas mais impactantes para este trabalho, destacam-se:

Tabela 1: Propriedades do aço SAE 1010

PROPRIEDADES MECANICAS	
Limite de escoamento	305 Mpa
Resistencia a tração	365 Mpa
Módulo de elasticidade	190GPa
Dureza Brinell	105 Hb
Coeficiente de atrito estático entre as duas superfícies	0,74
Coeficiente de atrito cinético entre as duas superfícies	0,57

Fonte: Adaptado de MATERIAIS GELSON LUZ (2017).

Além de ser a matéria-prima para o guidão, este aço também é base para confecção dos escorregadores, componentes do ferramental CNC que estão em constante atrito com o tubo.

Nesta análise foi possível concluir que o material a ser escolhido deve possuir suas características de acordo com os parâmetros listados acima, sendo interessante e apropriado oferecer propriedades melhores que estas, visto que dentro das características acima ocorre a problemática desta pesquisa.

## IDENTIFICAR NECESSIDADES DO CLIENTE

Realizou-se uma reunião com a manutenção e grupo técnico desta empresa do Polo Industrial de Manaus, com o propósito de verificar as necessidades do desenvolvimento de uma solução que contribuísse para atendimento a produção e melhoria de processo no setor de dobramento.

A partir desta consulta ao cliente, foram levantadas as seguintes necessidades:

Material resistente: deve suportar o esforço de dobra e tração ao qual o processo está sujeito, tendo como referencial os valores de resistência do aço SAE 1010;

Material não muito duro: material deve ser dúctil, pois se apresentar dureza elevada terá grandes chances de deformação e quebra durante o processo. Mais uma vez, o valor de referência segue sendo o do aço SAE 1010, não podendo ser ultrapassado.

Baixo custo de manutenção: deverá ser de fácil reposição, permitindo que possa realizar-se a manutenção preventiva e corretiva sempre que necessário, não gerando custos elevados de manutenção e nem alto tempo de espera na entrega dos componentes.

Baixo custo de produção: sua montagem deve ser feita na própria empresa, permitindo assim tornar o projeto economicamente viável.

## CARACTERÍSTICAS DO NYLON

Mais especificamente o Nylon 6.6, é um plástico de engenharia obtido da copoliamida 6.6/6, modificada, fabricada com resina da Rhodia por processo de extrusão, sendo tratado termicamente o que permite sua estrutura cristalina uniforme e livre de tensões internas. Por se tratar de um produto com boas propriedades físicas, mecânicas, elétricas e químicas, pode assim substituir com vantagens o bronze, o latão, o alumínio, o duralumínio, o ferro fundido e o aço. É utilizado muito em engrenagens, roscas sem-fim, rodas, roldanas e chavetas, peças sujeitas a desgaste intenso por atrito (INCOMPLAST, 2020). Seguindo os mesmos parâmetros do aço SAE 1010, abaixo temos tabeladas as seguintes propriedades:

Tabela 2: Propriedades do Nylon 6.6

PROPRIEDADES MECANICAS	
Limite de escoamento	90 Mpa
Resistencia a tração	120 Mpa
Módulo de elasticidade	3,6 GPa
Dureza Brinell	100 Hb
Coefficiente de atrito estático entre as duas superfícies	0,4
Coefficiente de atrito cinético entre as duas superfícies	0,3

Fonte: Adaptado de INCOMPLAST (2020).

Apesar das grandes vantagens do aço em relação ao polímero, uma característica faz toda diferença no processo: o coeficiente de atrito, tanto estático como cinético.

Conforme já dito anteriormente, o escorregador é o componente do ferramental de dobra CNC que tem mais atrito com o guidão, visto que este desliza pelo escorregador durante o avanço e recuo do tubo no processo de conformação do guidão para que as dobras e curvaturas sejam feitas. Devido a este atrito constante, é importante que o material possua um coeficiente baixo, o que aumentará consideravelmente sua resistência ao desgaste e, por consequência, sua vida útil.

Portanto, o uso do Nylon 6.6 é mais adequado pelo fato de seu coeficiente de atrito ser menor que o do aço SAE 1010, e sua dureza também ser menor, o que potencializa o aumento da resistência ao desgaste e redução das chances de trinca ou ruptura do material.

#### 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo tem como finalidade apresentar os resultados obtidos e suas consequências a partir da aplicação do nylon no ferramental de dobra CNC, desde a fase de implantação até o desenvolvimento do produto.

##### APRESENTAÇÃO FINAL DO PRODUTO

A proposta inicial era fazer apenas a substituição do material do escorregador, trocar o aço pelo nylon. Porém, foi observado que, pelas dimensões do escorregador e o processo de dobra de tubos em si, o guidão continuaria estando sujeito a um atrito muito grande já que o mesmo precisa deslizar por toda a superfície do escorregador.

Foi realizada uma melhoria no projeto e para garantir o processo de dobra dentro dos parâmetros previstos, ao invés de usar escorregador, foram postas duas roldanas móveis constituídas por Nylon 6.6, diminuindo assim o arraste do guidão durante o avanço e recuo do varão no processo. A figura 16 mostra o antes e depois da implantação do projeto.

Figura 16: Etapas de implantação

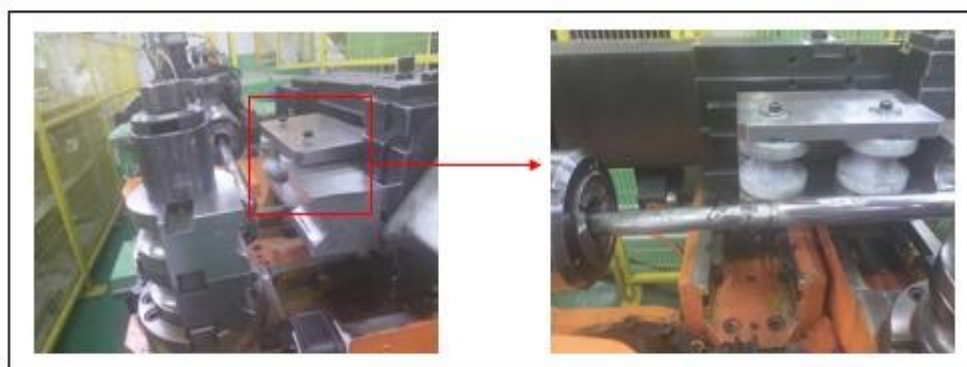


Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

## DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO

A fabricação das roldanas móveis foi realizada pela equipe da ferramentaria e manutenção internos da empresa, com materiais propriamente disponíveis. Desta forma, o produto atingiu os objetivos de projeto e produção dos requisitos do cliente que é um projeto de fácil entendimento e com baixo custo de fabricação do produto através da utilização de componentes e materiais disponíveis na empresa. A figura 17 apresenta as roldanas instaladas na conformadora de tubos CNC no local onde estaria o escorregador conforme proposta para o uso.

Figura 17: Roldanas móveis na posição para execução do processo



Fonte: Elaborada pelo autor (2020)

A introdução das roldanas no setor não gerou grandes modificações no layout, mantendo o mesmo fluxo de trabalho dentro processo.

Com a finalidade de verificar se o desenvolvimento do produto foi satisfatório e se os resultados foram alcançados, realizou-se a verificação dos índices de rejeição interna do guidão, antes da implantação do projeto e após a mesma, que segue na figura 18, assim como as especificações das roldanas na figura 19.



A partir da Ordem de Produção acima, é observado que o processo de fabricação das roldanas móveis é mais econômico que o de ferramentas feitas de aço, já que não precisa de tratamento térmico nem revenimento. Seus raios foram dimensionados base produto e dimensões da máquina curvadora de tubos CNC. Por ser produzida internamente, o custo da roldana é muito menor em comparação a outras que venham de fornecedores de forma externa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo visou a escolha de um material adequado para ferramental de conformadoras de tubos CNC, a partir da necessidade de diminuir os índices de rejeição interna do guidão de motocicletas e melhorar a sua qualidade, de forma segura e melhorando a eficiência do processo de conformação.

A compreensão das necessidades do cliente que estão descritas na metodologia possibilitou uma avaliação mais acurada da proposta inicial, identificando uma melhoria para alcançar os objetivos propostos, que se caracterizou pela troca do escorregador pelas roldanas móveis.

Em relação aos objetivos do trabalho conclui-se que os resultados foram satisfatórios, pois o projeto possibilitou o aumento de produtividade e qualidade do guidão. As roldanas tornaram o processo mais eficientes e eliminaram o problema de risco nos guidões.

Dessa forma, conclui-se que o trabalho atendeu os objetivos propostos e mostrou-se viável através da fabricação dos componentes do ferramental CNC.

Mediante estes resultados, os próximos trabalhos terão como principal objetivo aplicar esta metodologia não somente para guidões de motocicleta, mas para quaisquer outros produtos onde o atrito entre materiais esteja causando problemas produtivos e de qualidade, sempre buscando a eficiência e o melhor atendimento ao cliente dentro das características exigidas para o processo.

## REFERÊNCIAS

BLM GROUP, 2020. Disponível em:

<<http://www.blmgroupp.com/pt/produtos/dobra/tubos/elect.aspx>>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

ENSINGER PLASTICS, 2020. Disponível em:

<<http://www.ensingerplastics.com/pt-br/semiacabados/plasticos-de-engenharia/poliamida-pa>>. Acesso em: 31 de agosto de 2020.

FONSECA, João José Saraiva da. **Metodologia da Pesquisa Científica**.

Fortaleza: UEC, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

HIBBELER, R.C **Resistencia dos Materiais**. 5.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

INCOMPLAST, 2020. Disponível em: <<http://incomplast.com.br/nylonpa/>>. Acesso em: 31 de agosto de 2020.

ISOTREF, 2020. Disponível em: <<http://www.isotref.com.br/site/pecas-curvadas/>>. Acesso em: 15 de agosto de 2020.

LOJA DO MECANICO, 2020. Disponível em:

<<http://www.lojadomecanico.com.br/produto/88134/11/481/curvadora-de-tubos-manual---tipo-calandra-marcon-4504>>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

MATERIAIS GELSON LUZ, 2020. Disponível em:

<[http://www.materiais.gelsonluz.com/2017/09/aco-sae-1010-propriedades-mecanicas\\_93.html?m=1](http://www.materiais.gelsonluz.com/2017/09/aco-sae-1010-propriedades-mecanicas_93.html?m=1)>. Acesso em: 01 de setembro de 2020.

NAYYAR, M.L. **Piping Handbook**. 7. ed. New York: McGraw-Hill Professional, v. I, 2000.

PINTEREST, 2020. Disponível em:

<<http://br.pinterest.com/amp/tcfalcao/guidao>>. Acesso em: 14 de abril de 2020.

REIS, A.V.; FORCELLINI, F.A. **Obtenção de Especificações para o Projeto de Um Mecanismo Dosador de Precisão Para Sementes Miúdas**, Revista Engenharia Rural, v.17, n.1, p. 47-57, julho 2006.

RODRIGUES, Jorge; MARTINS, Paulo. **Tecnologia Mecânica**. Lisboa: Escolar, 2005. v. 2.

VINICIUS LAMPERT, 2020. Disponível em: <<http://silo.tips/download/vinios-renan-lampert-desenvolvimento-de-um-alimentador-de-tubos>>. Acesso em: 14 de abril de 2020.