

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA - UNIFACCAMP**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA FURADEIRA DE COLUNA**

**LUCAS RIBEIRO MIRANDA**  
**RAFAEL TREVISAN CORRÊA PINTO**  
**VINYCIUS BARROS DE ARAÚJO**

**Campo Limpo Paulista - SP**  
**Junho – 2021**

**LUCAS RIBEIRO MIRANDA  
RAFAEL TREVISAN CORRÊA PINTO  
VINYCIUS BARROS DE ARAÚJO**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA FURADEIRA DE COLUNA**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Campo Limpo Paulista – UNIFACCAMP, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.*

**Orientador: Prof. Edison Benatti  
Prof. Francisco Coelho de Oliveira**

**Campo Limpo Paulista - SP  
Junho – 2021**

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO LIMPO PAULISTA - UNIFACCAMP  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA FURADEIRA DE COLUNA**

**RA 26431 LUCAS RIBEIRO MIRANDA  
RA 26437 RAFAEL TREVISAN CORRÊA PINTO  
RA 26794 VINYCIUS BARROS DE ARAÚJO**

**Orientador: Prof. Edison Benatti**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof.  
Convidado**

---

**Prof. Edison Benatti  
Orientador**

---

**Prof. Alexandre Capelli  
Coordenador**

**Campo Limpo Paulista - SP  
Junho – 2021**

*Dedicamos esse trabalho primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível. Dedicamos também aos nossos pais, os quais nos deram todo o suporte necessário, não só para a realização desse trabalho, mas como para tudo em nossas vidas.*

## **AGRADECIMENTO**

Agradecemos a universidade como um todo e a todos os docentes que de alguma forma nos ajudaram a concluir esse trabalho.

Ao nosso orientador, professor Edison Benatti, que foi essencial para realizarmos com êxito o nosso trabalho de conclusão de curso.

Ao senhor Evandro Tarallo, responsável pela oficina mecânica, onde pudemos utilizar todos os ferramentais necessários para a conclusão de nosso trabalho.

*“Nunca ande por trilhas, pois assim só irá até onde os outros já foram.”*

*(Alexander Graham Bell)*

## RESUMO

Em foco o desenvolvimento pessoal e a aplicação das didáticas aprendidas em sala de aula, iremos desenvolver uma furadeira de coluna 100% projetada por nós. A princípio a ideia baseava-se na madeira como a principal matéria prima, mas no desenvolvimento do projeto, decidimos alterar para materiais ferrosos, por serem mais rígidos e ter uma maior resistência ao torque. Nossa furadeira será constituída através de chapas em aço, coluna em inox, polias escalonadas, onde será possível regular a velocidade de rotação (RPM), correia, proteção das partes girantes seguindo as normas de segurança NR 12, mesa com regulagem de altura e ângulo para uma operação mais precisa, além de contar com uma morsa móvel para efetuar o trabalho com segurança. A parte elétrica está sendo projetada para aguentar grandes esforços, sabendo disso, acoplamos em nosso trabalho um motor de 0,5cv, sendo acionado por botoeiras, além de possuir um sistema de emergência para instantaneamente desligar o equipamento por completo. Todo esse maquinário será o suficiente para suportar diversas condições de trabalho. O conjunto completo, será fixado através de parafusos e soldas elétricas com adição de eletrodo revestido. Estamos contando com o suporte de uma oficina mecânica familiar, onde temos todos os ferramentais necessários para desenvolver o projeto por completo. A ideia de escolher a furadeira de coluna como nosso projeto de conclusão de curso (TCC), veio por se tratar de um maquinário completo, onde será trabalhado diversas matérias lecionadas durante o curso, tais como: eletricidade, elementos de máquina, mecânica geral, processo de fabricação, materiais de construção mecânica, entre outras... além de ser uma ferramenta amplamente utilizada no dia a dia fabril.

**Palavras chaves:** Furadeira de coluna e segurança.

## LISTA DE SIGLAS

**NR12** - Norma Regulamentadora

**RPM** - Rotações por Minuto

**mm** – Milímetros

**m/min** - Metros por minuto

**CNC** - Controle Numérico Computadorizado

**mm<sup>2</sup>** - Milímetros ao Quadrado

**kW** - Quilowatt

**HP** - Horse Power

**CV** - Cavalo Vapor

**Nm** – Newtons.metro

**kgfm** - Quilograma-Força.Metro

**VC** - Velocidade de Corte

**CA** - Corrente Alternada

**Hz** - Hertz

**NBR** - Norma Técnica Brasileira

**NCM** - Nomenclatura Comum do Mercosul

**N** - Newton

**h/dia** - Hora / Dia

**SAE** - Society Automotive Engineers

**AISI** - American Iron and Steel Institute

**ABIMAQ** - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos

**EPI** - Equipamento de proteção individual

**IP21** - Grau de proteção dos objetos elétricos

**P** - Polos

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas

**IEC** - International Electrotechnical Commission

**V** - Volts

**Cº** - Celsius

**NEMA** - National Electrical Manufacturers Association



**NA** - Normal Aberto

**NF** - Normal Fechado

**R\$** - Símbolo de real

**MT** - Ministério do trabalho

**SRT** - Superintendências Regionais do Trabalho

**CLT** - Consolidação das Leis do Trabalho

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1: Vista explodida de um cabeçote

Imagem 2: Força atuante e movimento de furação4b: Ângulo efetivo de folga

Imagem 3: Movimento de corte na atuação de uma broca

Imagem 4a: Divisão das partes da broca; 4b: Ângulo efetivo de folga

Imagem 5: Ângulos presentes na ponta da broca

Imagem 6: Vistas de uma broca

Imagem 7: Área de remoção de cavaco

Imagem 8: Corte de brocas com pastilhas intercambiáveis

Imagem 9: Definição das partes de uma broca

Imagem 10: Equações da furação

Imagem 11: Classificação de motores

Imagem 12: Dimensões recomendadas para polias planas

Imagem 13: Polias para correias planas

Imagem 14: Padronização de polias

Imagem 15: Variador de velocidade escalonado tipo cone de polias com 4 rotações

Imagem 16: Tipos mais comuns de correias

Imagem 17: Transmissão variável

Imagem 18: Transmissão escalonada com correia plana

Imagem 19: Transmissão por correia com variação contínua (CVT) na relação de multiplicação através do deslocamento da correia sobre a polia em movimento

Imagem 20: Exemplo de aplicação de correia (Variação escalonada).

Imagem 21: Composição básica de uma correia trapezoidal.

Imagem 22: Transmissão por correias.

Imagem 23: Transmissão com correia aberta e fechada.

Imagem 24: Força de atrito entre correia e polia plana(a) e trapezoidal (b)

Imagem 25: Cargas atuantes em correias planas

Imagem 26: Padronização de correias trapezoidais.

Imagem 27: Exemplo de Aço carbono utilizado em indústrias

Imagem 28: Tubos mecânicos

Imagem 29: Exemplos de utilização do alumínio

Imagem 30: Polias de alumínio

Imagem 31: Vista frontal de um eixo-árvore

Imagem 32: Aplicação de uma chaveta

Imagem 33: Chaveta de cunha

Imagem 34: Chaveta longitudinal

Imagem 35: Chaveta encaixada

Imagem 36: Chaveta meia-cana

Imagem 37: Chaveta plana

Imagem 38: Chaveta embutida

Imagem 38: Chaveta tangencial

Imagem 39: Chaveta transversal encaixada

Imagem 40: Inclinação da chaveta transversal

Imagem 41: Chaveta paralela e forma de utilização

Imagem 42: Exemplos de formatos de chavetas paralelas

Imagem 43: Chaveta meia-lua

Imagem 44: Utilização de chaveta meia-lua

Imagem 45: Tolerâncias para chavetas e rasgos

Imagem 46: Vista cortada de um mandril

Imagem 47: Mandril de boca cilíndrica

Imagem 48: Mandril de aperto rápido

Imagem 49: Cone de polias

Imagem 50: Disposição dos dois cones de polias no sistema de transmissão

Imagem 51: Vista frontal da coluna

Imagem 52: Vista lateral esquerda da coluna

Imagem 53: Vista frontal da base fixa

Imagem 54: Vista lateral da base fixa

Imagem 55: Vista superior da base fixa

Imagem 56: Vista frontal da mesa

Imagem 57: Vista superior da mesa

Imagem 58: Vista frontal do eixo árvore

Imagem 59: Vista lateral esquerda do eixo árvore

Imagem 60: Vista frontal da manga de suporte do eixo

Imagem 61: Vista lateral esquerda da manga do eixo

Imagem 62: Vista superior da manga do eixo

Imagem 63: Vista frontal do transmissor de movimentos entre a alavanca e o eixo

Imagem 64: Vista superior do transmissor de movimentos entre a alavanca e o eixo

Imagem 65: Vista frontal da alavanca

Imagem 66: Lateral esquerda da alavanca

Imagem 67: Protótipo montado

Imagem 68: Sistema de transmissão do Protótipo

Imagem 69: Exemplo de furadeira similar no mercado

Imagem 70: Exemplo de furadeira similar no mercado

## **LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS**

Tabela 1: Coeficientes para obtenção do momento de torção

Tabela 2: Coeficientes para obtenção da força de avanço

Tabela 3: Recomendações para geometria da polia

Tabela 4: Dimensões dos perfis dos canais

Tabela 5: Vida útil da correia em %

Tabela 6: Perfis das correias

Tabela 7: Fator de serviço ( $F_s$ )

Tabela 8: Fator de serviço adicional das correias

Tabela 9: Classificação de HP por correia

Tabela 10: Fator de correção para o comprimento –  $F_l$

Tabela 11: Fator de correção para o arco de contato -  $C_a$

Tabela 12: Comprimentos standard das correias

Tabela 13: Tipos de aço

Tabela 14: Classificação de motores.

Gráfico 1: Determinação da seção das correias 3V, 5V e 8V

Gráfico 2: Determinação da seção das correias A, B, C, D e E

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1. Objetivo geral .....	18
1.1.1. Objetivos específicos .....	18
1.2. Problema .....	18
1.3. Justificativa.....	18
1.4. Metodologia.....	19
1.4.1. Metodologia científica.....	19
1.4.2. Metodologia do projeto.....	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	20
2.1. Usinagem em Furação.....	20
2.1.1. Processo.....	21
2.1.2. Esforços.....	22
2.1.3. Avanço de Ferramenta .....	25
2.1.4 Velocidades de corte .....	26
2.1.5 Equações empíricas para o cálculo dos esforços em furação .....	26
2.2. Motores .....	27
2.2.1. Motores de corrente alternada .....	28
2.2.1.1 Motores de corrente alternada: Monofásicos .....	28
2.2.1.2. Motores de corrente alternada: Trifásicos.....	29
2.2.1.3. Motores de corrente alternada: Síncronos .....	29
2.2.1.4. Motores de corrente alternada: Assíncronos.....	29
2.2.2. Torque .....	30
2.3. Polias e correias .....	30
2.3.1. Polias .....	31
2.3.1.1. Materiais de fabricação e geometria: .....	31
2.3.1.2. Polias para correias planas .....	32
2.3.1.3. Polias para correias em “V” .....	33
2.3.1.4. Polias escalonadas ou cone de polias: .....	34
2.3.2. Correias .....	36

2.3.2.1. Razões econômicas.....	37
2.3.2.2 Razões de segurança .....	37
2.3.2.3 Razões de versatilidade .....	37
2.3.3. Aplicações desse sistema de transmissão: .....	38
2.3.3.1. Variadores contínuos .....	38
2.3.3.2. Variadores escalonados de velocidade .....	38
2.3.4. Composição e materiais para fabricação: .....	39
2.3.5. Princípio de funcionamento do conjunto .....	39
2.3.6. Análise e determinação de cargas: .....	41
2.3.7. Equação fundamental das correias.....	43
2.3.8. Vida da Correia (%).....	43
2.3.9 Tensão nas correias .....	44
2.3.10. Determinação das cargas .....	44
2.3.11. Especificações de correias trapezoidais.....	45
2.3.12. Passos para a seleção de correias trapezoidais.....	46
2.4. Materiais.....	54
2.4.1. Aços.....	54
2.4.2. Tubos mecânicos .....	56
2.4.2.1 Principais características dos Tubos Mecânicos.....	57
2.4.2.2. Tipos de Tubos Mecânicos.....	58
2.4.3. Alumínio.....	59
2.4.3.1 Polias de alumínio.....	61
2.5. Normas aplicáveis .....	62
2.6. Rolamentos .....	64
2.6.1 Rolamentos industriais .....	64
2.7. Eixos .....	65
2.7.1 Materiais para eixos e árvores.....	66
2.7.2 Carregamento estático .....	66
2.7.3 Carregamento estático sujeito à flexão, torção e esforço axial .....	67
2.7.3 Carregamento estático sujeito à flexão e torção.....	68
2.8. Chavetas .....	69

2.8.1. Chaveta de cunha .....	70
2.8.2. Chaveta longitudinal .....	70
2.8.3. Chaveta encaixada.....	71
2.8.4. Chaveta meia-cana .....	71
2.8.5. Chaveta plana .....	72
2.8.6. Chaveta embutida .....	72
2.8.7. Chaveta tangencial.....	72
2.8.8. Chaveta transversal.....	73
2.8.9. Chavetas paralelas ou linguetas .....	73
2.8.10 Chaveta de disco ou meia-lua (tipo Woodruff) .....	74
2.8.11 Tolerâncias para chavetas.....	75
2.9. Mandril .....	75
2.9.1. Tipos de mandril para furadeira .....	76
3. Desenvolvimento .....	78
3.1 Parâmetros de partida .....	78
3.2. Cálculo de torque de furação e potência .....	78
3.3. Definição de motorização.....	79
3.3.1 Especificações Técnicas .....	80
3.4. Projeto de transmissão .....	80
3.4.1. Cálculo da Polia .....	81
3.4.2 Cálculo da Correia.....	81
3.5. Projeto do eixo e caixa.....	82
3.6. Projeto da coluna.....	84
3.7. Projeto da mesa e base .....	85
3.7.1. Projeto da base .....	85
3.7.2. Projeto da mesa .....	86
3.8. Projeto do eixo.....	86
3.8.1. Projeto da manga do eixo.....	86
3.9. Projeto do mandril.....	88
3.9.1. Transmissor de movimentos entre a alavanca e o eixo .....	88
3.9.2. Alavanca .....	88



3.10. Projeto elétrico.....	89
3.11. Protótipo.....	90
3.12. Custo de fabricação e preço de mercado .....	90
4. RESULTADOS.....	93
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	95

# 1. INTRODUÇÃO

A fim de demonstrar todo conhecimento adquirido durante o curso, optamos por realizar a construção de uma furadeira de coluna, um maquinário bastante utilizado nas oficinas mecânicas e indústrias dos mais diversos segmentos. Inicialmente construímos um protótipo, e foi à partir dele que nos baseamos para a execução do nosso trabalho.

## 1.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo aplicar os conhecimentos apreendidos no projeto, desenvolvimento e construção de um equipamento.

### 1.1.1. Objetivos específicos

Construção da furadeira de coluna, adequando o custo e preço de venda a valores inferiores ao que o mercado precifica.

## 1.2. Problema

Durante a nossa conversa realizada com diversas pequenas oficinas mecânicas, e até mesmo com pessoas que tem um “hobby” e que desejam um maquinário para poder realizar algumas operações específicas, notamos que sempre é citado o elevado custo desses equipamentos, como uma furadeira de coluna.

Pensamos então no que seria ideal para essas pessoas que não tem o poder de compra igual ao das grandes indústrias? Decidimos desenvolver um maquinário a partir do zero, com baixo custo de construção e baixo preço de comercialização.

## 1.3. Justificativa

A princípio a ideia foi advinda da redução dos custos de fabricação e comercialização desse tipo de furadeira pela metade, que atualmente é comercializada com valores acima dos R\$ 2.000,00 (Dois mil reais).

## **1.4. Metodologia**

### **1.4.1. Metodologia científica**

O início do estudo deu-se de forma teórica, mais especificamente abordando de forma bibliográfica o tema escolhido. Durante nossa pesquisa, decidimos por optar pela construção de um maquinário que abordasse de forma ampla algumas das matérias já estudadas por nós.

E foi com esse pensamento que demos início ao projeto, tínhamos como foco principal a construção e funcionamento do maquinário escolhido, porém em nenhum instante foi deixado de lado a parte relativa à segurança, visando sempre todos os requisitos especificados na NR 12.

### **1.4.2. Metodologia do projeto**

Optamos pela escolha desse projeto pois, durante uma conversa informal com um amigo do grupo, que possui uma pequena oficina mecânica no quintal de sua residência, ficou claro para nós a dificuldade que ele encontra quando precisar realizar algum trabalho em que seja necessário executar a operação de furação, pois o mesmo não possui um equipamento adequado, onde possa furar com precisão e segurança as peças que eventualmente lhe sejam necessárias, tendo que apelar para a utilização da furadeira manual, sem nenhum recurso de segurança, ou mesmo sem a garantia que a furação irá sair de acordo com o planejado.

Constatamos também, durante nossa conversa, que, essa é uma dificuldade que não se faz exclusiva apenas de uma pessoa, e sim, de um grupo de pessoas; Sejam eles aventureiros que possuem uma oficina semelhante à dele, ou seja, têm a construção e manutenção mecânica como um hobby, ou até mesmo os pequenos empresários que prestam serviços as grandes empresas e realizam com frequência a operação de furação, todos sofrem do mesmo problema e como não possuem um alto poder financeiro para poder efetuar a compra de tal maquinário profissional, também recorrem a execução da operação de forma inapropriada, colocando em risco a segurança e também a própria execução da tarefa em si.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Usinagem em Furação

Como podemos ver no processo de furação, o movimento de corte é circular e o movimento de avanço é linear na direção do eixo de rotação da broca. Na indústria a grande maioria das peças tem pelo menos um furo, e uma parcela muito pequena já vem com furo pronto.

Em geral, as peças são furadas em cheio ou tem seus furos aumentados através deste processo, sendo de desbaste e necessário outra operação para acabamento.

Na furação, devem ser observados os seguintes fatores: diâmetro do furo, profundidade do furo, tolerâncias de forma, de medidas e volume de produção.

Apesar de importante, o processo foi pouco modernizado em relação aos demais, a ferramenta mais usada é ainda a broca helicoidal de aço rápido.



Figura 1 - vista explodida de um cabeçote

A principal razão disso, está no diâmetro do furo. Uma broca de 10 mm para ser aplicada com velocidades de corte compatíveis ao metal duro (200 m/min), precisaria de uma rotação da ordem de 6400rpm, bastante alta para furadeiras convencionais.

Nos últimos anos tem crescido a utilização de centros de usinagem CNC, que propiciam rotações bem superiores aos 6400rpm citados.

### 2.1.1. Processo

As condições de operação em processos de furação são severas, entre elas, a velocidade de corte não é uniforme e varia desde zero no centro do furo até o máximo na periferia da broca. O meio lubri-refrigerante atua também no transporte e retirada de cavacos do furo chegando com dificuldade às arestas de corte.

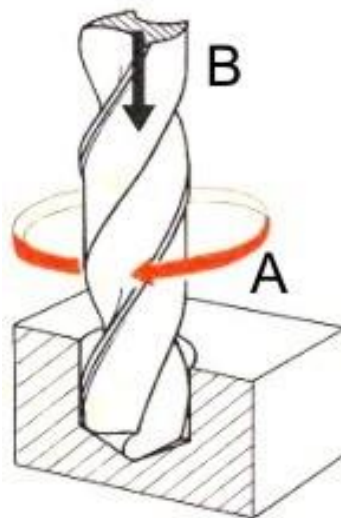


Figura 2 - Força atuante e movimento de furação  
Fonte: (FERRARESI, 1971)

Os movimentos envolvidos na operação de furação são movimentos relativos entre a peça e um ou mais gumes (arestas de corte) da ferramenta. Estes movimentos são referentes à peça considerando-a como parada.

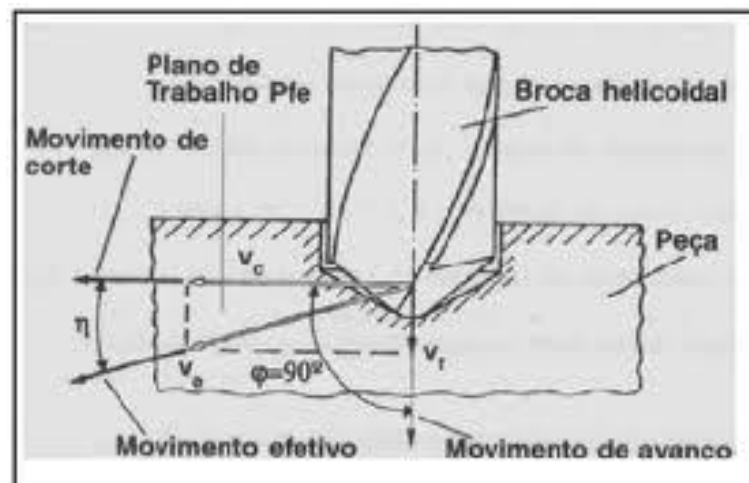


Figura 3 - Movimento de corte na atuação de uma broca  
Fonte: (FERRARESI, 1971)

**Movimento (principal) de corte:** é o movimento entre a peça e a ferramenta em contato, o qual sem o movimento de avanço origina somente uma única remoção de cavaco durante uma volta.

**Movimento de avanço:** é o movimento da ferramenta, segundo seu eixo de rotação, no sentido do avanço. É especificado em mm por rotação ou por tempo.

**Movimento efetivo de corte:** é o movimento resultante dos movimentos de corte e de avanço, realizados no mesmo tempo.

### 2.1.2. Esforços

A superfície gerada pela broca no fundo do furo é decorrente do avanço contínuo efetuado pelas duas arestas principais de corte, de forma que cada aresta executa metade do movimento de avanço.



Figura 4ª - Divisão das partes da broca

Figura 4b - Ângulo efetivo de folga

Fonte: (FERRARESI, 1971)

O movimento efetivo de corte faz com que o ângulo efetivo de folga ( $\alpha$ ) seja menor que o ângulo de folga (a). Esse  $\alpha$  deve ser o maior possível para evitar o esmagamento do material pelo flanco da broca. No entanto, quanto maior  $\alpha$ , menor a resistência da cunha e maior a tendência a vibrações.

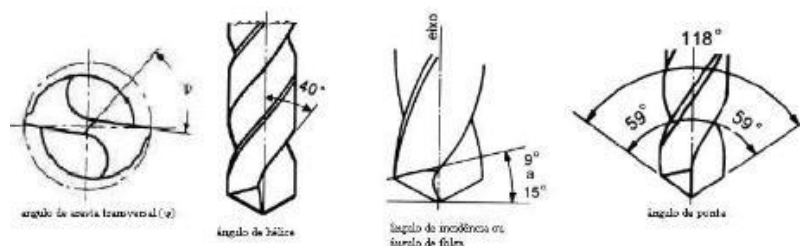
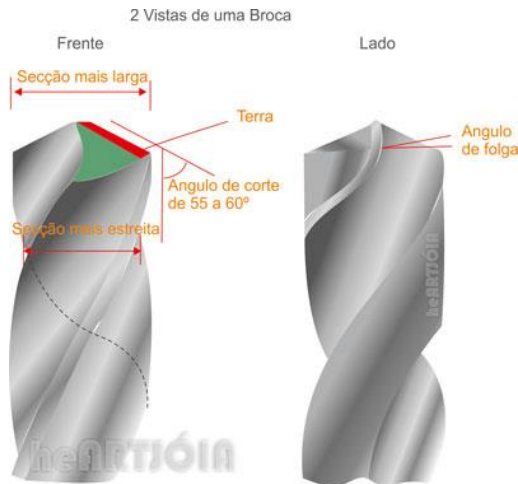


Figura 5 - Ângulos presentes na ponta da broca

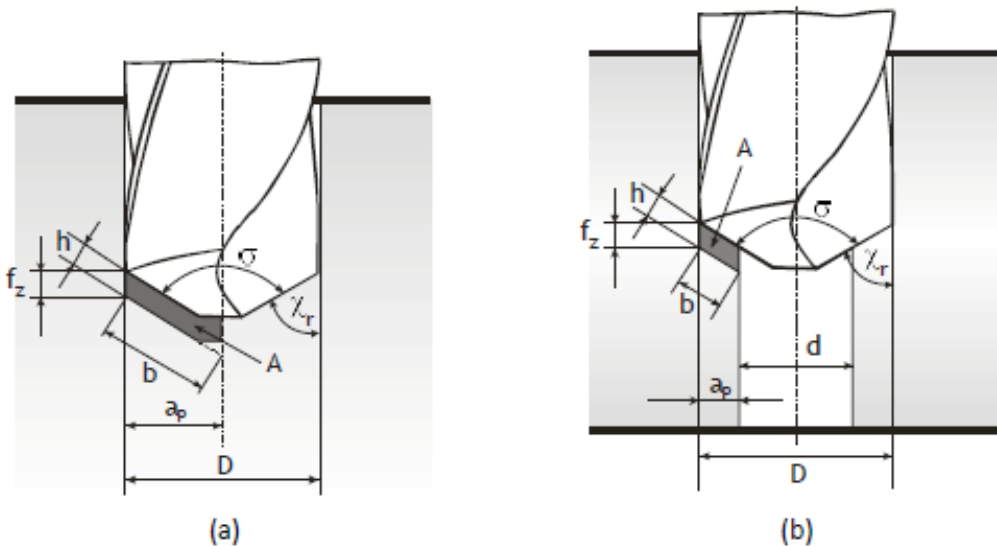
Fonte: (FERRARESI, 1971)

Um grande ângulo de ponta (s) leva a desvios da broca que, por sua vez, aumentam o diâmetro sendo usinado (broca não guiada). Um ângulo (s) pequeno leva a uma boa centragem, mas aumenta a força passiva e o atrito.



**Figura 6 - Vistas de uma broca**  
 Fonte: (FERRARESI, 1971)

Área da seção transversal de corte A (mm<sup>2</sup>) é a área calculada de um cavaco a ser removido medido perpendicularmente à direção de corte no plano de medida.



**Figura 7 – Área de remoção de cavaco**  
 Fonte: (FERRARESI, 1971)

$$A = a_p \cdot f_z = b \cdot h$$

$$f_z = f/2 \quad cr = s/2$$

$$b = a_p / \text{sencr} \quad h = f_z \cdot \text{sencr}$$

$f_z$  = avanço da broca por aresta principal de corte (mm/volta);

$f$  = avanço da broca (mm/volta);

$a_p$  = profundidade de corte (mm);

$b$  = largura de corte (mm);  $h$ =espessura de corte (mm);

$\alpha_r$  = ângulo de posição da ferramenta, da aresta principal de corte;

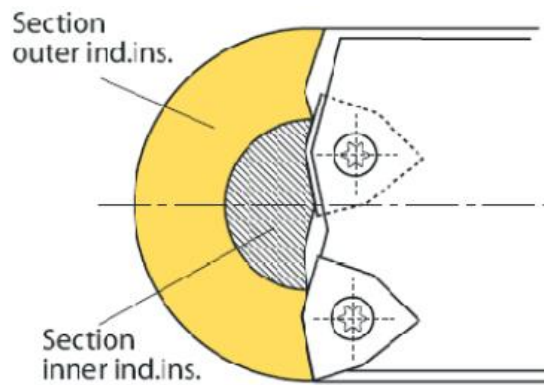
$\alpha_s$  = ângulo ponta

Para uma broca helicoidal na furação em cheio  $a_p=D/2$  e  $A=D.f/4$

Para uma broca helicoidal na furação com um pré furo com diâmetro “  $d$  ”

$a_p=(D-d)/2$  e  $A=(D-d).f/4$

No caso de brocas com pastilhas intercambiáveis, o número de insertos influencia apenas na largura de corte ( $b$ ), pois o avanço da broca é considerado totalmente.



Distribuição do corte em brocas com pastilhas intercambiáveis

**Figura 8 – Corte de brocas com pastilhas intercambiáveis**

Fonte: (FERRARESI, 1971)

Assim, tem-se:

$$f_z = f$$

$$b = b_i + b_e$$

$b_i$  = Largura interna de corte;

$b_e$  = Largura externa de corte.

O ângulo de posição  $\alpha_r$  em brocas com pastilhas intercambiáveis pode ser diferente para cada inserto, influenciando assim a espessura de corte ( $h$ ) resultante.



### 2.1.3. Avanço de Ferramenta

A aresta de corte (gume) move-se segundo uma espiral que se inclina com relação à direção de corte. Esta inclinação é definida pelo ângulo de direção efetiva de corte  $h$ . Este ângulo cresce com o crescimento do avanço  $f$  e com a diminuição do diâmetro  $D$  da broca, como mostra a equação:  $\text{tgh} = f/p.D$

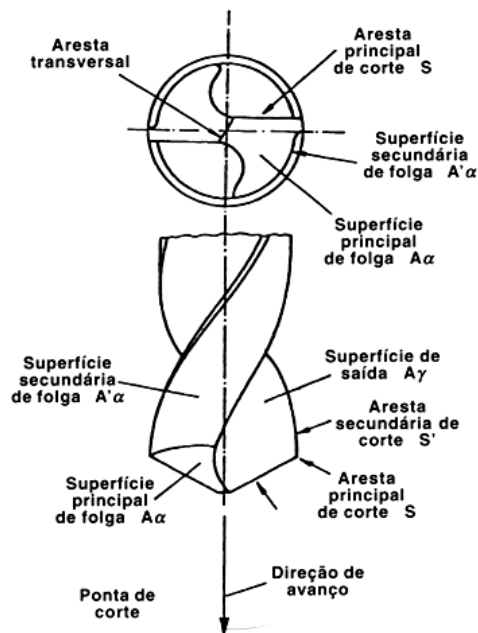


Figura 9 – Definição das partes de uma broca  
Fonte: (FERRARESI, 1971)

Assim, o crescimento do avanço facilita a quebra do cavaco e conseqüentemente sua remoção de dentro do furo. Para que o cavaco removido pela broca helicoidal não seja esmagado pela superfície principal de folga e o corte possa ocorrer, é necessário que o ângulo lateral efetivo de folga ( $afe$ ) seja positivo tanto quanto possível para qualquer diâmetro da broca. Porém, tem se pela equação que:

$$afe = af-h$$

Assim, para que o ângulo  $afe$  seja sempre positivo, é necessário que o ângulo lateral de folga ( $af$ ) seja maior que o ângulo em qualquer diâmetro da broca.

Observa se na equação que  $afe$  diminui com o aumento de  $h$ . Assim, o aumento do avanço ( $f$ ) para facilitar a quebra do cavaco faz com que  $afe$  diminua e, com isso, aumente a deformação plástica do fundo do furo, principalmente próxima ao centro, onde este ângulo é menor ainda (causa encruamento em materiais dúcteis).

Com isso, na região mais central da broca, af precisa ser maior para compensar o crescimento de h, com isso, possibilitar a obtenção de um afe positivo. Isso deve ser conseguido através da afiação da broca. Além disso, existe um limite para o crescimento do avanço acima do qual pode causar a quebra da broca ou a paralisação do avanço da máquina.

#### 2.1.4 Velocidades de corte

A velocidade de corte (m/min) diminui à medida que se caminha da periferia para o centro da broca. Assim, quando materiais dúcteis são furados em cheio (sem pré furo), a formação da aresta postiça de corte (APC) na vizinhança do centro da broca é inevitável, já que a formação desta se dá em baixas temperaturas de corte, ou seja, baixas velocidades de corte. A utilização de baixa velocidade de corte pode gerar APC numa porção maior do diâmetro da broca. Por outro lado, o aumento da velocidade para minimizar a sua formação gera maiores desgastes na ferramenta (a vizinhança da periferia da broca, que antes já não o formava, agora passa a se desgastar mais rapidamente).

$$V_c = p \cdot D \cdot n / 1000$$

#### 2.1.5 Equações empíricas para o cálculo dos esforços em furação

Para que as equações experimentais que possam estimar os valores destes esforços sejam determinadas, é necessário que o número de parâmetros de influência no processo seja reduzido, a fim de ter uma equação possível de ser usada. Assim, os pesquisadores *KRONENBERG* e *H. DAAR* desenvolveram equações baseadas no diâmetro (D) do furo, no avanço (f) e no material da peça para brocas. Os demais fatores estão implícitos nas constantes definidas.

	FURAÇÃO EM CHEIO	FURAÇÃO COM PRÉ-FURO
Momento Torçor [N·mm]	$M_t = C_1 \cdot D^{x_1} \cdot f^{y_1}$ KRONENBERG	$M_t = C_3 \cdot D^{2-x_3} \cdot (D^{x_3} - d^{x_3}) \cdot f^{1-y_3}$ H. DAAR
Força de Avanço [N]	$F_f = C_2 \cdot D^{x_2} \cdot f^{y_2}$ H. DAAR	$F_f = C_4 \cdot D^{1-x_4} \cdot (D^{x_4} - d^{x_4}) \cdot f^{1-y_4}$ H. DAAR

D = diâmetro da broca [mm]    f = avanço da broca [mm/volta]    C<sub>i</sub>, X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub> = constantes do material da peça

**Figura 10 – Equações de furação**  
Fonte: (FERRARESI, 1971)

FURAÇÃO EM CHEIO				FURAÇÃO COM PRÉ-FURO			
AÇO	$C_1$	$x_1$	$Y_1$	AÇO	$C_3$	$x_3$	$Y_3$
1085	296	2,05	0,86	1085	271	1,90	0,29
1020	148	2,22	0,76	1020	236	1,60	0,23
1065	238	2,05	0,83	1065	185	2,10	0,30
1055	215	2,01	0,77	1055	198	1,70	0,34
1025	372	1,87	0,77	1025	216	1,90	0,26
52100	459	1,97	0,77	52100	341	2,50	0,30
VM 20	477	1,77	0,72	VM 20	213	1,90	0,30
VND	257	2,13	0,78	VND	369	1,90	0,22
VS 60	107	2,33	0,70	VS 60	466	0,50	0,31

Tabela 1 - Coeficientes para obtenção do momento de torsão

Fonte: (FERRARESI, 1971)

FURAÇÃO EM CHEIO				FURAÇÃO COM PRÉ-FURO			
AÇO	$C_2$	$x_2$	$Y_2$	AÇO	$C_4$	$x_4$	$Y_4$
1085	1579	1,02	0,79	1085	373	0,90	0,49
1020	319	1,32	0,65	1020	1098	0,20	0,39
1065	486	1,07	0,54	1065	273	0,60	0,56
1055	216	1,32	0,54	1055	373	0,40	0,62
1025	328	1,21	0,60	1025	407	0,60	0,43
52100	411	1,41	0,66	52100	632	1,20	0,46
VM 20	268	1,30	0,59	VM 20	451	0,50	0,46
VND	540	1,29	0,72	VND	917	0,60	0,32
VS 60	419	1,35	0,70	VS 60	677	0,20	0,60

Tabela 2 - Coeficientes para obtenção da força de avanço

Fonte: (FERRARESI, 1971)

## 2.2. Motores

Os motores elétricos são máquinas elétricas que possuem como característica transformar energia elétrica em energia mecânica. São muitos os tipos de motores elétricos, e podemos separá-los basicamente em três grandes grupos que são os motores de corrente contínua, motores de corrente alternada e os motores universais. Para cada um desses tipos de motores citados existem outras separações de motores como os motores de corrente alternada, que podem ser motores síncronos ou motores assíncronos. Na figura 11 podemos observar melhor quais são as classificações de motores.

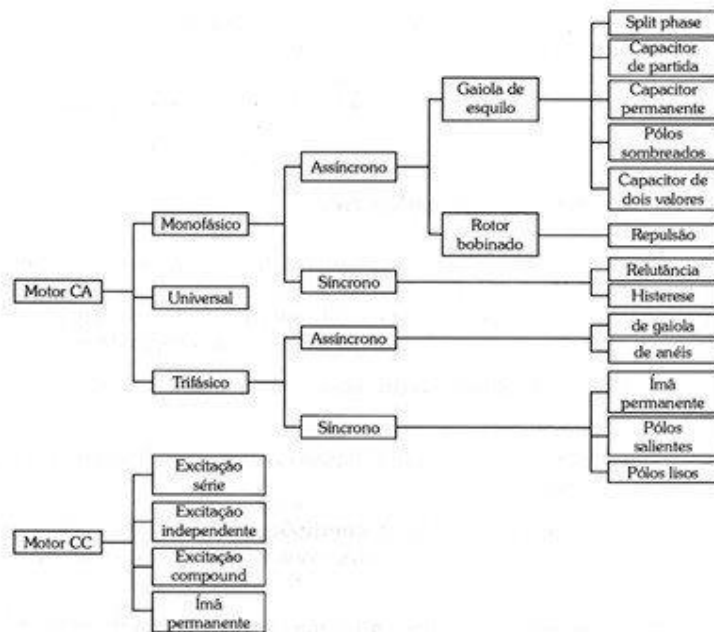


Figura 11 - Classificação de motores

## 2.2.1. Motores de corrente alternada

Quando falamos de motores de corrente alternada imaginamos vários tipos de motores como em tornos, fresas, esteiras rolantes, escadas rolantes, elevadores, portões elétricos e ventiladores. Existem muitos tipos de motores de corrente alternada, sendo eles monofásicos ou trifásicos, cada um deles com suas características e aplicações distintas, como veremos a seguir.

### 2.2.1.1 Motores de corrente alternada: Monofásicos

Os motores monofásicos são aqueles motores alimentados apenas por um condutor de fase e que geralmente são usados quando não há uma rede trifásica disponível na instalação. Por esse motivo que eles são amplamente utilizados para fins domésticos, comerciais e em poucas situações eles são usados na indústria. Normalmente os motores elétricos monofásicos são utilizados em aplicações que exigem menores potências, geralmente inferiores a 3KW.

É importante destacar que os motores monofásicos não conseguem dar partida por conta própria como acontece com os motores trifásicos, então é necessário um componente auxiliar que permita com que o motor inicie a sua operação. Este componente que auxilia o motor monofásico a dar partida é o capacitor, sendo que

alguns motores possuem um capacitor permanente e outros usam um capacitor exclusivo na partida. Podemos citar como exemplo os motores que possuem uma chave centrífuga, que retira o capacitor após o motor atingir uma determinada velocidade.

#### **2.2.1.2. Motores de corrente alternada: Trifásicos**

O motor de corrente alternada trifásico que também é conhecido como motor de indução é o mais utilizado devido as suas diversas vantagens como por exemplo, o baixo custo em manutenção, montagem, fabricação e simplicidade em relação aos motores de corrente contínua.

O funcionamento do motor de indução se baseia na criação de um campo magnético rotativo, ou campo girante. Uma tensão alternada aplicada ao estator do motor cria um campo girante, que a partir de então produz um campo magnético rotativo que atravessa os condutores do rotor. Este campo magnético girante criado pelo rotor tenta se alinhar com o campo girante do estator, que produz um movimento de rotação no rotor.

Os motores elétricos trifásicos podem ser facilmente encontrados nas indústrias para as mais variadas aplicações como em torno, fresa, esteiras rolantes, além de outras aplicações fora das indústrias, como em elevadores e escadas rolantes.

#### **2.2.1.3. Motores de corrente alternada: Síncronos**

Os motores de corrente alternada também podem ser classificados em motores síncronos e motores assíncronos, além de monofásicos ou trifásicos. A principal diferença entre eles é que um motor síncrono gira em uma velocidade constante, independente da variação de cargas. Essa velocidade é conhecida como velocidade síncrona, e isso ocorre porque a velocidade do campo magnético girante depende da frequência da rede alternada.

#### **2.2.1.4. Motores de corrente alternada: Assíncronos**

Ao contrário do motor síncrono, o motor assíncrono gira em uma velocidade ligeiramente menor que a velocidade de rotação do campo girante do estator. Sendo assim o rotor não está sincronizado com esse campo girante, por isso ele recebe o

nome de motor assíncrono. Essa diferença entre a velocidade do rotor e a velocidade do campo magnético é denominada de escorregamento do motor.

A velocidade (de rotação) do motor elétrico é definida por dois fatores:

- O número de pólos magnéticos. (2 polos, 4 polos, 6 polos, 8 polos)
- A frequência da fonte corrente alternada (CA). (frequência comum das redes CA 60Hz)

### **2.2.2. Torque**

De forma simplificada, o torque é definido como uma força de rotação, que pode ou não resultar em movimento. Você gera, por exemplo, torque toda vez que utiliza uma alavanca e aplica força sobre ela. Um exemplo prático sobre isso é quando usamos uma chave de boca para apertar ou soltar os parafusos de uma roda. Este movimento realizado sobre o parafuso é o que podemos considerar torque.

Normalmente o torque é medido em Nm (Newtons x metro) ou Kgfm (quilograma x força x metro). Para calcular, basta multiplicar a força aplicada pela distância entre o local de aplicação de força e o centro da rotação.

O torque é uma grandeza vetorial bastante utilizada no dimensionamento de diversos equipamentos, como por exemplo os motores elétricos e redutores de velocidade.

Os motores elétricos possuem a capacidade de converter a energia elétrica em rotação do rotor, à uma determinada velocidade de rotação e um determinado torque, de acordo com sua potência. Cabe ressaltar que torque e potência não são a mesma coisa, mas são grandezas complementares. A potência gerada por um motor elétrico, por exemplo, é diretamente proporcional ao torque que ele gera à uma determinada velocidade de rotação. Ou seja, para uma mesma velocidade de rotação, quanto maior for a potência, maior será o torque fornecido.

### **2.3. Polias e correias**

Um meio de transmissão bastante utilizado na indústria é a transmissão por polias e conseqüentemente correias. As polias não necessariamente possuem um

dimensionamento especial, sendo sua geometria e dimensões bastante conhecidas e bem descritas nas normas. Serão abordados aqui apenas os tipos principais para correias em V, uma breve abordagem sobre correias planas e escalonadas, os materiais de fabricação mais comuns e algumas recomendações de utilização e montagem.

### 2.3.1. Polias

#### 2.3.1.1. Materiais de fabricação e geometria:

As polias são normalmente fabricadas com materiais ferrosos como ferro fundido ou aço, podendo ser, para grandes diâmetros, de estrutura soldada, que são normalmente utilizadas para diâmetros a partir de 500 mm. Materiais poliméricos, como plásticos, com alto coeficiente de atrito e baixa densidade, também podem ser utilizados. São fabricadas por processo de fundição ou de usinagem.

Para pequenos diâmetros (até 300 mm) as polias podem ser sólidas ou com furos para redução de peso e para facilitar o acoplamento em torno durante a sua fabricação.

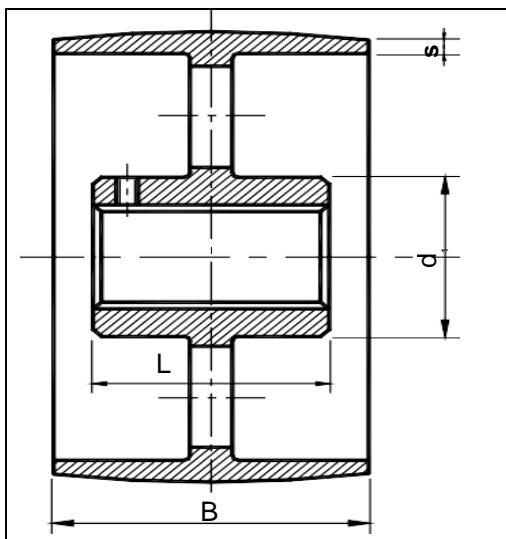


Figura 12 - Polias para correias planas

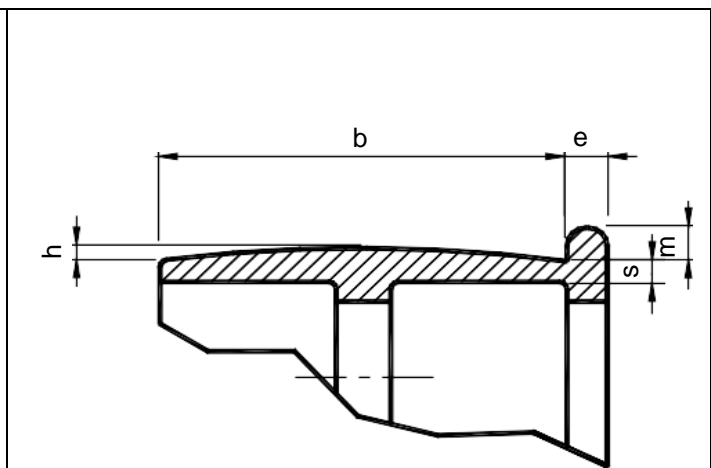


Figura 13 - Dimensões recomendadas para polias planas

Fonte: (Elementos de transmissões flexíveis, 2009)

### 2.3.1.2. Polias para correias planas

A tabela 3, fornece as dimensões recomendadas para o projeto de polias planas. As dimensões  $d_1$  e  $L$  podem ser utilizadas também em polias para correias trapezoidais.

As polias devem ser projetadas com um abaulamento em sua superfície, a fim de manter a correia centrada durante o funcionamento. Ambos os casos estão representados nas imagens 12 e 13 e as dimensões recomendadas se encontram na tabela 3.

<b><i>DIMENSÕES DAS POLIAS</i></b> <b><i>(Planas ou Trapezoidais)</i></b>			
<b><i>Dimensão [mm]</i></b>	<b><i>Simbolo</i></b> <b><i>gia</i></b>	<b><i>Valor</i></b> <b><i>recomendado</i></b>	<b><i>Observações</i></b>
Largura da polia	$B$	$1.1(b) + 10$	$b =$ largura da correia
Diâmetro externo do cubo	$d_1$	$1.7d \leq d_1 \leq 2d$	$d =$ diâmetro do eixo
Comprimento do cubo	$L$	$1.5d \leq L \leq 2d$	e também deve ser $\leq B$
Altura da coroa	$S$	1.0 1.5 2.0 2.5	$30 < B < 60$ $60 < B < 100$ $100 < B < 150$ $150 < B < 225$
Altura do abaulamento	$h$	$0.01B \leq h \leq 0.05B$ $h \leq 4 \text{ mm}$	$B =$ largura da polia
Largura da proteção lateral	$e$	$e \leq 4 \text{ mm}$	-
Altura da proteção lateral	$m$	$e \leq m \leq 2e$	-

**Tabela 3 - Recomendações para geometria da polia**

Fonte: (Elementos de transmissões flexíveis, 2009)



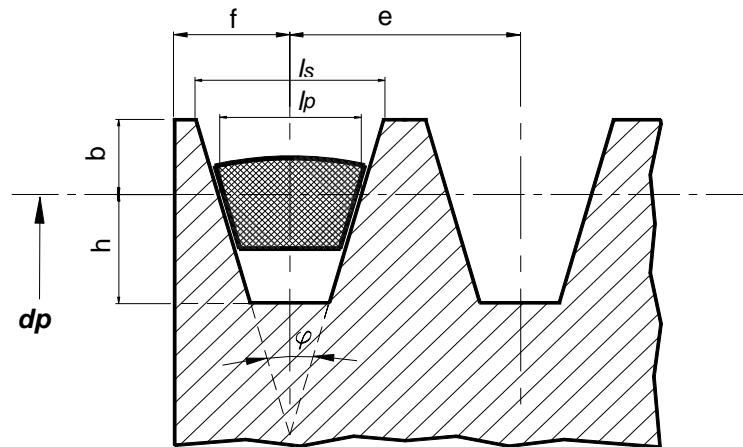
### 2.3.1.3. Polias para correias em “V”

As polias para correias em V são especificadas na norma NBR 8319. Esta norma padroniza as formas e dimensões principais das polias entre eixos paralelos e horizontais. A tabela 4 apresenta as dimensões dos perfis dos canais bem como sua posição na polia

SEÇÃO	$d_p$ [m m]	$\varphi$	DIMENSÃO PADRÃO DOS CANAIS [mm]						
			ls	lp	e	f	b	profundidad e (h + b)	
A	3	$\geq 75$	34 $\pm 0.5$	$13^{+0.2}$ -0	11	$15 \pm 0.3$	$10^{+2}$ -1	3. 3	1 2
	5	125							
	5	$> 125$	38 $\pm 0.5$	$13.3^{+0.2}$ -0					
B	5	$\geq 125$	34 $\pm 0.5$	$16.6^{+0.2}$ -0	14	$19 \pm 0.4$	$12.5^{+2}$ -1	4. 2	1 5
	8	200							
	8	$> 200$	38 $\pm 0.5$	$16.9^{+0.2}$ -0					
C	8	$\geq 200$	36 $\pm 0.5$	$22.7^{+0.3}$ -0	19	$25.5 \pm 0.5$	$17^{+2}$ -1	5. 7	2 0
	1 2	300							
	1 2	$> 300$	38 $\pm 0.5$	$22.9^{+0.3}$ -0					
D	1 4	$\geq 355$	36 $\pm 0.5$	$32.3^{+0.4}$ -0	27	$37 \pm 0.6$	$24^{+3}$ -1	8. 1	2 8
	2 0	500							
	2 0	$> 500$	38 $\pm 0.5$	$32.6^{+0.4}$ -0					
E				$38.2^{+0.4}$ -0	32	$44.5 \pm 0.7$	$29^{+4}$ -1	9. 6	3 3
				$38.6^{+0.4}$ -0					

**Tabela 4 - Dimensões dos perfis dos canais**  
Fonte: (Elementos de transmissões flexíveis, 2009)

A Figura 13, apresenta o perfil de uma polia com a correia alojada na canaleta e a respectiva simbologia adotada.



**Figura 14 - Padronização de polias**  
Fonte: (Elementos de transmissões flexíveis, 2009)

$f$  – Distância entre a linha de centro do primeiro canal e a face mais próxima da polia.  $e$  – Distância entre as linhas de centros de dois canais consecutivos.

$h$  – Profundidade do canal abaixo da linha do diâmetro primitivo.

$b$  – profundidade do canal acima da linha do diâmetro primitivo.

$l_p$  – largura do canal na linha do diâmetro primitivo.

$d_p$  – diâmetro primitivo da polia.

$\varphi$  - ângulo do canal.

$l_s$  – largura superior do canal.

#### **2.3.1.4. Polias escalonadas ou cone de polias:**

Cones de polias escalonadas são utilizados como mecanismo variador de velocidades, conforme o esquema apresentado na figura abaixo. Estas polias são projetadas com vários diâmetros diferentes, que são acoplados através de correia, plana ou em V, em qualquer posição, obtendo-se assim, diversas rotações de saída. São projetados normalmente com 2, 3 ou 4 escalonamentos. O número de escalonamentos é limitado apenas pelo espaço disponível.

Para que a tensão se mantenha a mesma em todas as posições da correia, duas condições devem ser satisfeitas:

- O afastamento entre eixos (distância entre centros) deve ser

$$c > 10.(D - d)$$

- A soma dos diâmetros correspondentes deve ser a mesma.

$$(D_1 + d_3) = (D_2 + d_2) = (D_3 + d_1) = \dots$$

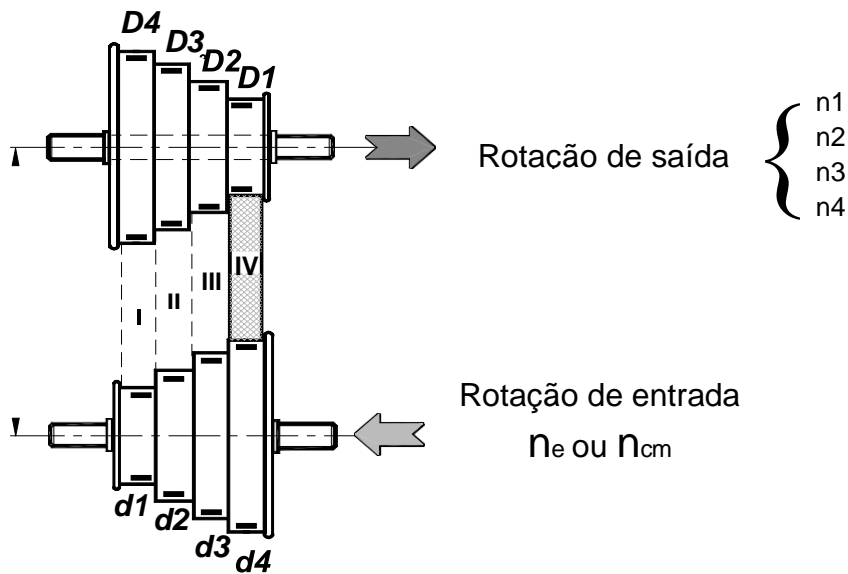


Figura 15 - Variador de velocidade escalonado tipo cone de polias com 4 rotações  
 Fonte: (Elementos de transmissões flexíveis, 2009)

Observando a figura acima e utilizando a equação descrita abaixo, os diâmetros das polias podem ser calculados; basta apenas conhecer a rotação de entrada e as rotações de saída. Normalmente são conhecidos o diâmetro maior ou o menor do cone de polias, através das características construtivas da máquina ou da correia selecionada. Assim sendo, as seguintes relações podem ser obtidas:

- Correia na posição I:  $n_1/n_{cm} = d_1/D_4$  →  $n_1 = n_{cm} \cdot (d_1/D_4)$
- Correia na posição II:  $n_2/n_{cm} = d_2/D_3$  →  $n_2 = n_{cm} \cdot (d_2/D_3)$
- Correia na posição III:  $n_3/n_{cm} = d_3/D_2$  →  $n_3 = n_{cm} \cdot (d_3/D_2)$
- Correia na posição IV:  $n_4/n_{cm} = d_4/D_1$  →  $n_4 = n_{cm} \cdot (d_4/D_1)$

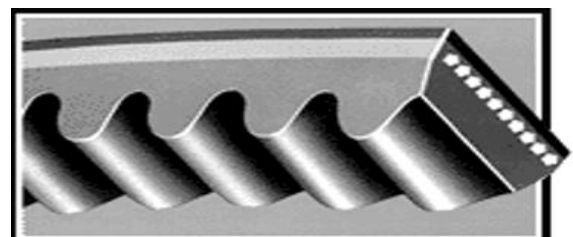
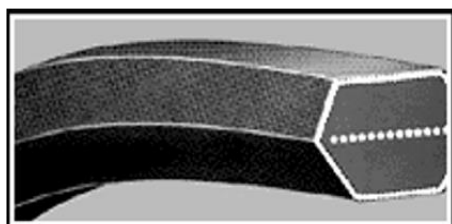
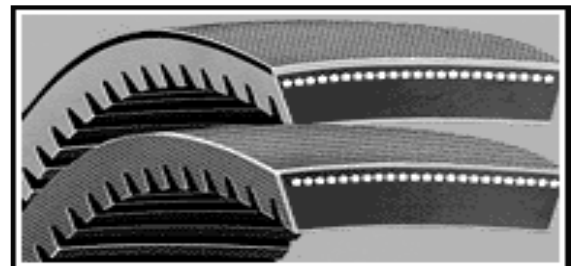
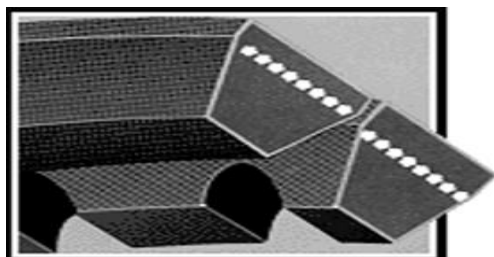
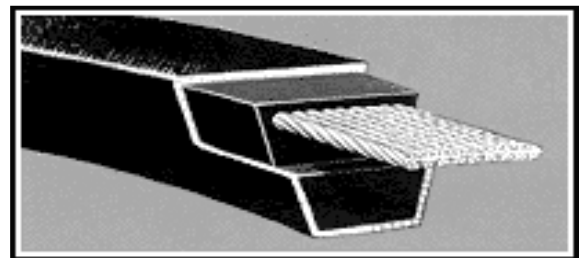
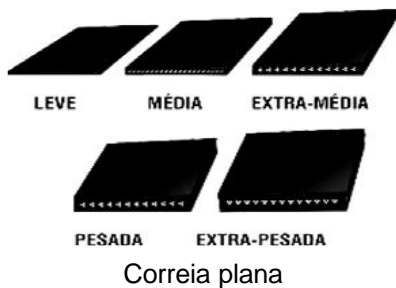
### 2.3.2. Correias

As correias, juntamente com as polias são um dos meios mais antigos de transmissão de movimento. É um elemento flexível, normalmente utilizado para transmissão de potência entre dois eixos paralelos distantes. Elas são fabricadas em várias formas e com diversos materiais.

As correias são largamente utilizadas nas indústrias de máquinas operatrizes e automotiva; são encontradas em diversos equipamentos, desde pequenos aparelhos eletrônicos até equipamentos industriais de grande porte.

O grande sucesso na utilização das correias é devido, principalmente, às seguintes razões: a boa economia proporcionada por esta transmissão, sua grande versatilidade e segurança.

Alguns exemplos das correias estão descritos na figura 16.



**Figura 16 - Tipos mais comuns de correias**  
Fonte: (Elementos de transmissões flexíveis, 2009)

### 2.3.2.1. Razões econômicas

- Padronização;
- Facilidade de montagem e manutenção (a disposição é simples e o acoplamento e o desacoplamento são de fácil execução);
- Ausência de lubrificantes e durabilidade, quando adequadamente projetadas e instaladas.

### 2.3.2.2 Razões de segurança

- Reduzem significativamente choques e vibrações devido à sua flexibilidade e ao material que proporciona uma melhor absorção de choques e amortecimento, evitando a sua propagação;
- Limitam sobrecargas pela ação do deslizamento (podem funcionar como “fusível mecânico”);
- Funcionamento silencioso;

### 2.3.2.3 Razões de versatilidade

- Permitem grandes variações de velocidade ( $i$  recomendado  $\leq 6$ );
- Possibilitam rotações no mesmo sentido (correia aberta) ou em sentidos opostos
- (correia fechada);
- Facilidade de variação de velocidade: Contínuo e descontínuo

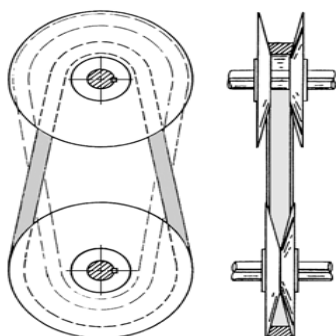


Figura 17 - Transmissão variável contínua em "V"

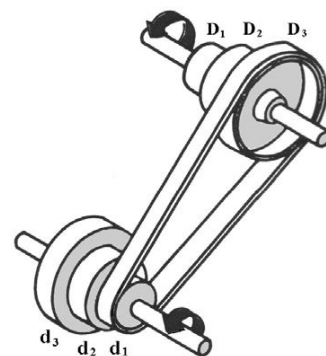


Figura 18 - Transmissão escalonada com correia plana

### 2.3.3. Aplicações desse sistema de transmissão:

#### 2.3.3.1. Variadores contínuos

São normalmente utilizados para relação de transmissão entre 0,8 e 1,2, com graduação através do deslocamento axial dos discos cônicos, onde os diâmetros úteis ( $d_m$ ) das polias acionadora e acionada variam opostamente, de tal forma que se conserva a tensão sem a variação da distância entre os eixos

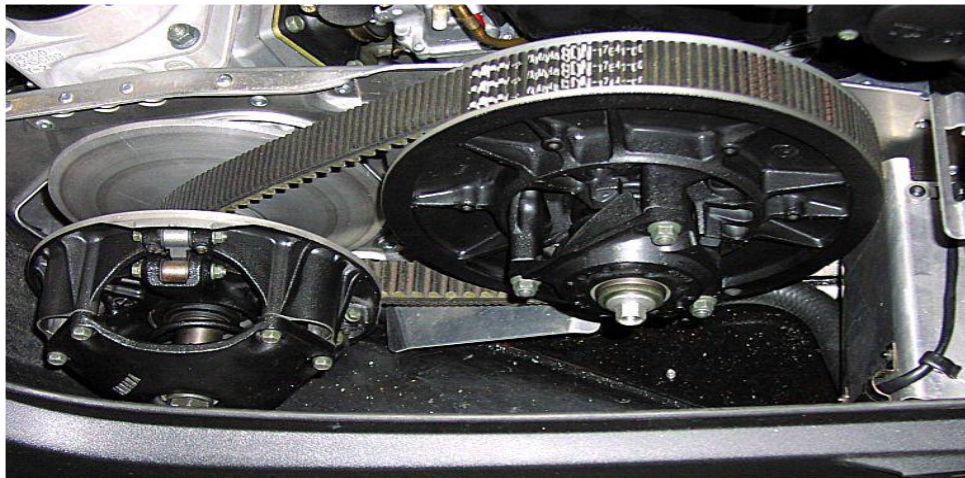


Figura 19 - Transmissão por correia com variação contínua (CVT) na relação de multiplicação através do deslocamento da correia sobre a polia em movimento  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

#### 2.3.3.2. Variadores escalonados de velocidade

Transmissões por correia com relação de multiplicação variável em degraus. Diâmetros das polias devem ser feitos de tal maneira que o comprimento necessário da correia seja suficiente para todos os degraus.

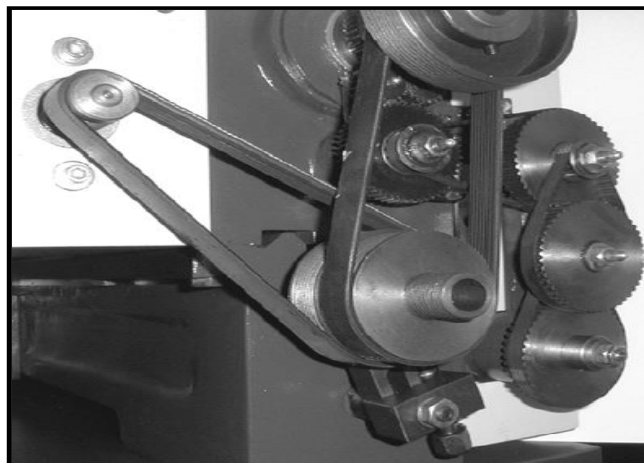


Figura 20 - Exemplo de aplicação de correia (Variação escalonada)  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

#### 2.3.4. Composição e materiais para fabricação:

As correias mais antigas eram fabricadas em couro. Atualmente este material está em desuso e é utilizado apenas para correias planas.

A composição das correias modernas é de material compósito. É uma mistura de polímeros (borracha) com fibras vegetais (algodão ou cânhamo) ou materiais metálicos (arames ou cabos de aço).

Os elementos de tração por sua vez podem ser compostos de cordas de nylon ou fibra sintética, ou arames de aço ou mesmo cabos de aço. Este elemento é diretamente responsável pela capacidade de transmissão das correias. Porém, quanto maior a resistência destes elementos menor é a flexibilidade da correia.

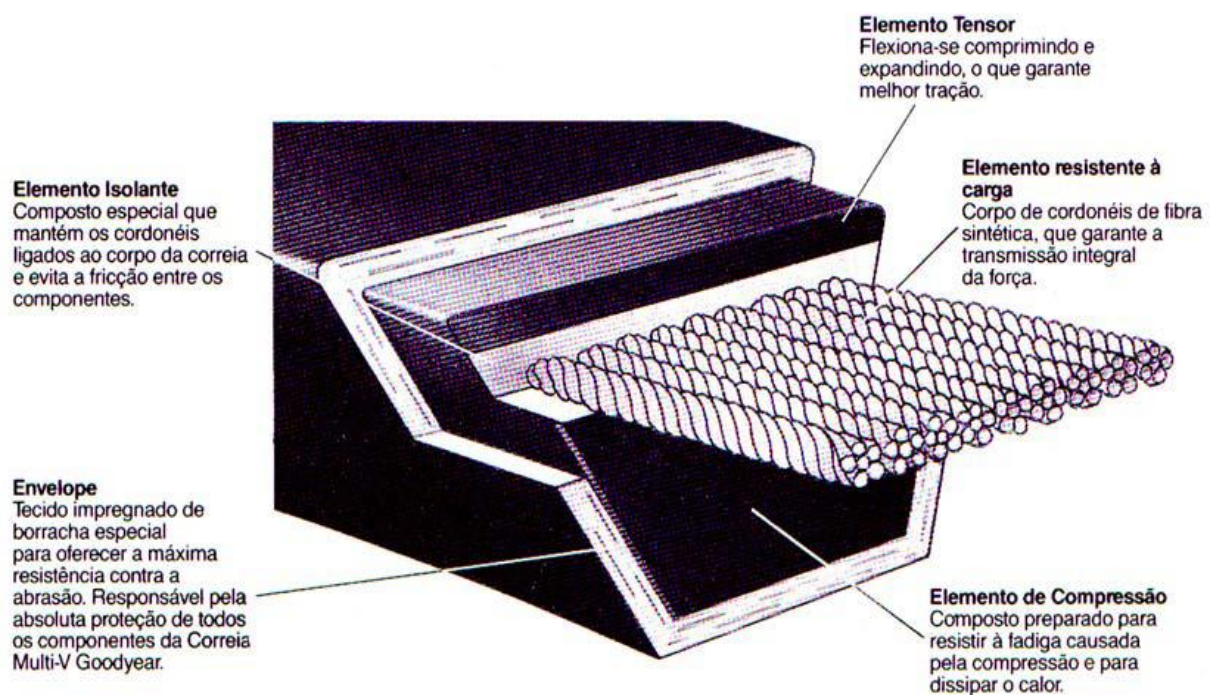


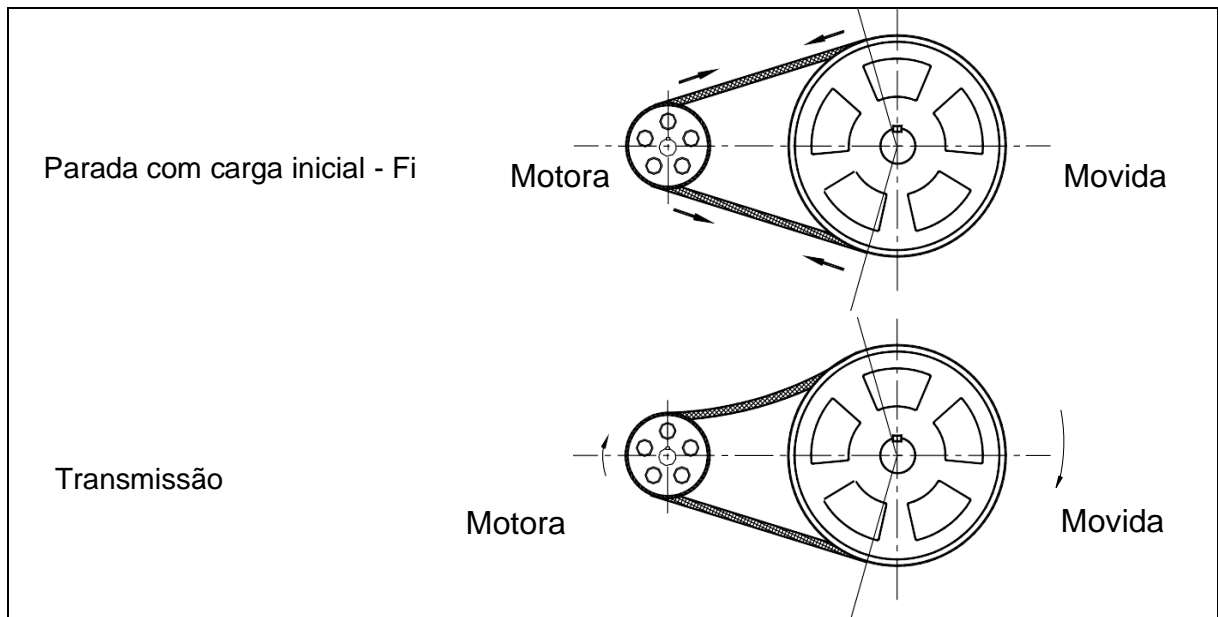
Figura 21 - Composição básica de uma correia trapezoidal.

Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

#### 2.3.5. Princípio de funcionamento do conjunto

O princípio de funcionamento, se dá por um atrito entre a correia e a polia através de uma carga inicial ( $F_i$ ), ficando ambos os lados da correia submetidos ao mesmo esforço. Quando em funcionamento, observa-se que os lados da correia não estão mais submetidos à mesma tensão; isso ocorre uma vez que a polia motora tensiona mais a correia em um lado (ramo tenso) do que do outro (ramo frouxo).

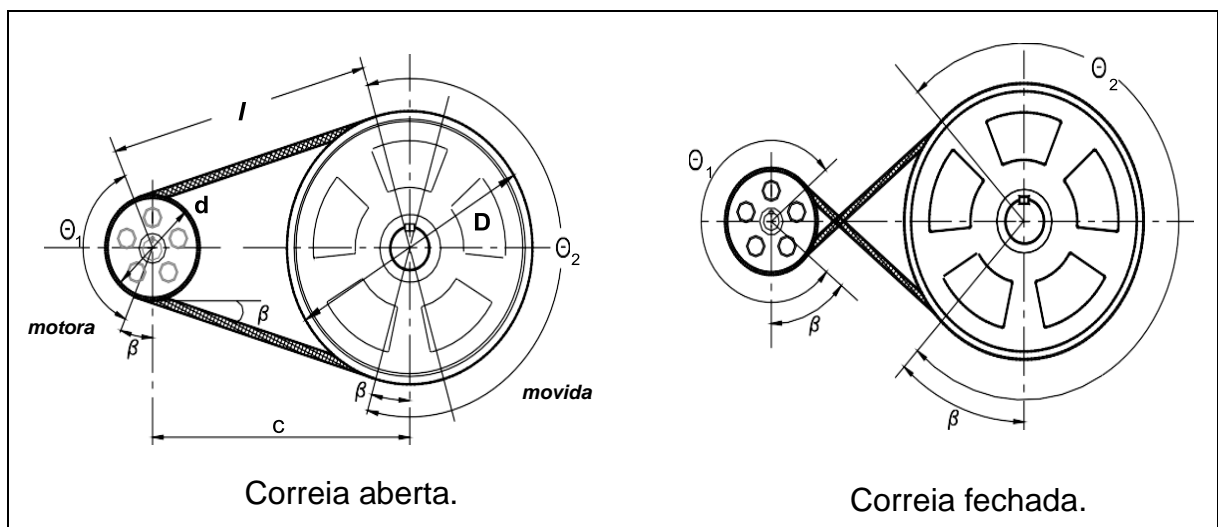
Essa diferença de tensões entre os lados tenso e frouxo da correia é causadora de uma deformação na correia denominada “*creep*”.



**Figura 22 - Transmissão por correias**  
 Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

Na polia motora, a correia entra tensa devido ao esforço de girar a polia movida, e sai frouxa; assim, à medida que a correia passa em torno da polia, a tensão gradualmente diminui de  $F_1$  para  $F_2$  e a correia sofre uma contração também gradual.

Em consequência disso, a correia deixa a polia motora mais contraída, uma vez que perde um pouco do seu alongamento ao mover-se em torno da polia. Na polia movida, o fenômeno se repete, mas inversamente



**Figura 23 - Transmissão com correia aberta e fechada**  
 Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)



$\theta_{1,2}$  = ângulo de abraçamento:

$$\theta_{1,2} = \pi \pm \arcsin\left(\frac{D-d}{2c}\right)$$

c = distância entre

$$c = \frac{k + \sqrt{k^2 - 32 \cdot (D-d)}}{16}$$

Onde:

$$k = 4 \cdot L - 2 \cdot \pi \cdot (D + d)$$

L = comprimento da correia:

$$L = 2 \cdot c \cdot \frac{\pi}{2} (D + d) + \frac{(D-d)^2}{4c}$$

Sendo assim:

$$D \text{ médio} = (D+d) / 2$$

(Correias em "V")

Onde:

D = diâmetro maior

d = diâmetro menor

$n_{1,2}$  = rotações das polias "motora" (1) e "movida" (2)

**Definição:**

**Relação de transmissão:**

{ se  $n_2 > n_1 \Rightarrow$  multiplicação  
 { se  $n_2 < n_1 \Rightarrow$  redução  $i > 1$

$$\frac{\text{rotação da motora}}{\text{rotação da movida}} = \frac{n_1}{n_2}$$

↑ ou mult 4 : 1 ou 1 : 4

Ex.  $i = 3 = 1/4$  ou redução 3 : 1 ou 1 : 3

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = i$$

**2.3.6. Análise e determinação de cargas:**

As correias estão submetidas basicamente a dois tipos de tensões: tensão devido ao tracionamento e tensão devido à flexão da correia em torno da polia. A figura 1.10 mostra a configuração da força normal (N) resultante do tracionamento inicial, que origina a força de atrito ( $\mu \cdot N$ ) necessária à transmissão, tanto para correias planas como para trapezoidais.

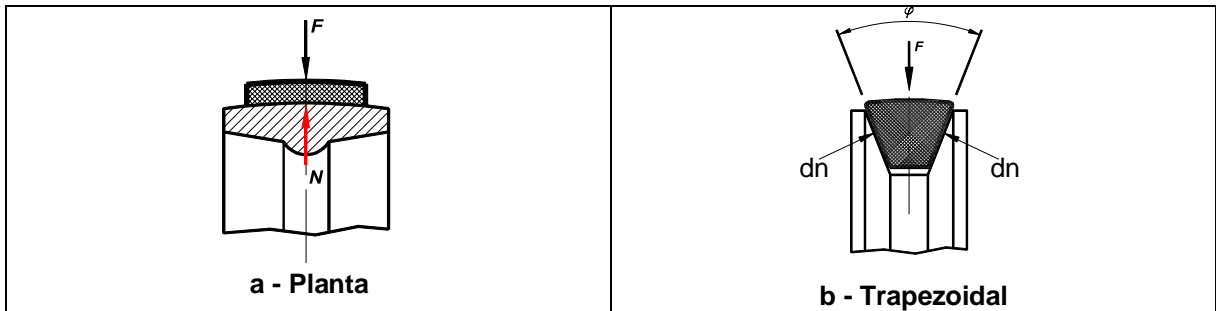


Figura 24 - Força de atrito entre a correia e a polia (a) plana e (b) trapezoidal  
 Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

Algumas análises e definições, baseadas na figura 24, serão agora feitas.

$F_i$  = carga inicial ou pré-carga

$F_1$  = força no ramo tenso

$F_2$  = força no ramo frouxo

$R$  = resultante na correia - carga útil, carga transmitida:

$$R = F_1 - F_2$$

### Carga Inicial – $F_i$ :

Se  $T = 0$  (parado)  $\Rightarrow R = 0 \Rightarrow F_i = F_1 - F_2$

Se  $T > 0$  (transmissão)  $\Rightarrow \begin{cases} F_1 = F_i + \Delta F \\ F_2 = F_i - \Delta F \end{cases} \quad F_1 - F_2 = R = 2 \cdot \Delta F \Rightarrow \Delta F = R/2 \quad Fr = T/2$

Se  $R$  (limite)  $\Rightarrow \begin{cases} F_1 = F_i + R/2 \\ F_2 = F_i - R/2 \end{cases} \quad F_1 + F_2 = R = 2F_i$

$F_2 \text{ min} = 0$  (não há compressão)

$F_1 \text{ máx} = R = 2F_i \Rightarrow F_i \text{ máx} = R/2$

como  $F_2 > 0 \Rightarrow F_i = (F_1 + F_2)/2$

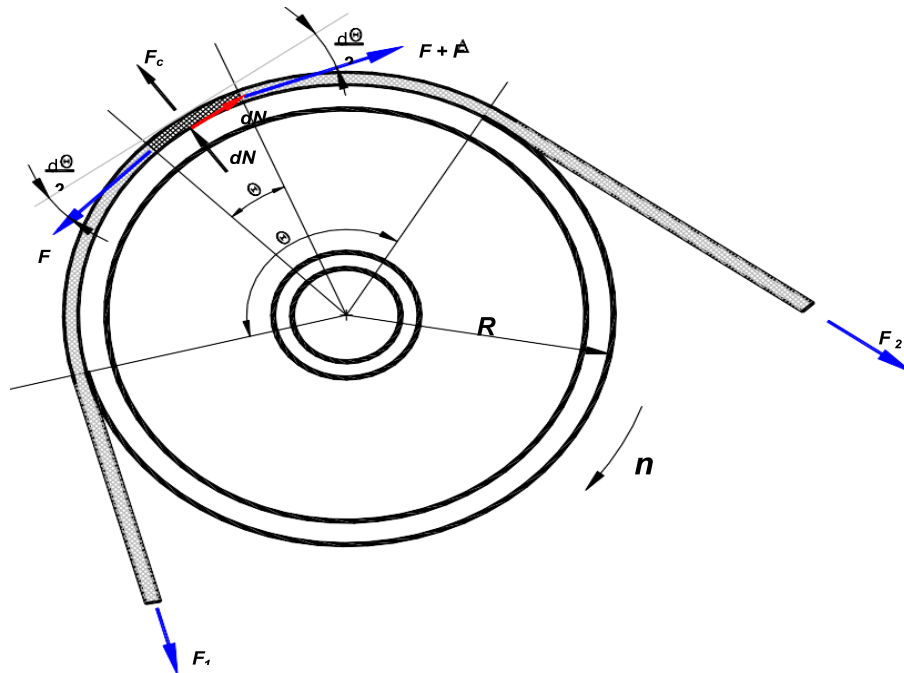
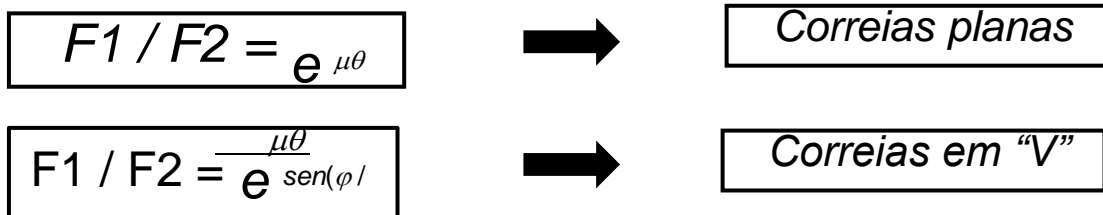


Figura 25 - Cargas atuantes em correias planas  
 Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

### 2.3.7. Equação fundamental das correias

As seguintes equações são denominadas equações fundamentais das correias. Essas equações representam, considerando os demais parâmetros constantes, a relação máxima entre as forças  $F_1$  e  $F_2$  que a correia pode operar sem deslizamento.



### 2.3.8. Vida da Correia (%)

A influência do diâmetro da polia menor sobre a vida da correia é alta. A tabela abaixo apresenta o resultado de um estudo sobre este efeito. Pode-se observar que um decréscimo de cerca de 20 % no diâmetro recomendado da polia menor implica na redução da vida da correia na ordem de 70%.

Onde:

- T [N.m]
- r[m]
- n[rpm]

Onde:

- T [N.m]
- r[m]
- n[rpm]

### 2.3.9 Tensão nas correias

<b><i>Diâmetro da polia menor - d</i></b> <b><i>(d<sub>recomendado</sub> = 254 mm)</i></b>		<b><i>VIDA DA CORREIA (%)</i></b>
<i>mm</i>	<i>in</i>	
<u>305</u>	<u>12</u>	<u>260</u>
<u>280</u>	<u>11</u>	<u>165</u>
<b><u>254</u></b>	<b><u>10</u></b>	<b><u>100</u></b>
<u>230</u>	<u>9</u>	<u>59</u>
<u>203</u>	<u>8</u>	<u>30</u>
<u>178</u>	<u>7</u>	<u>15</u>

- Sub-tracionamento provoca deslizamento e geração de calor devido ao atrito entre a correia e a polia.
- Super-tracionamento diminui a vida das correias e mancais.

### 2.3.10. Determinação das cargas

As cargas atuantes nesta transmissão são determinadas a partir da potência ou torque transmitidos e na equação fundamental das correias.

Potência:

$$\boxed{P = T \cdot n} \quad \longrightarrow \quad (F1 - F2) = (P \cdot K1) /$$

Valores para K1, dependendo da unidade de medida:

- P [kW]  $\Rightarrow$  K1 = 9550
- P [HP]  $\Rightarrow$  K1 = 7120

### 2.3.11. Especificações de correias trapezoidais

As correias industriais trapezoidais são fabricadas basicamente com dois conjuntos de perfis: o perfil *Hi-Power* (A, B, C, D e E) e o perfil PW (3V, 5V e 8V), conforme figura 26:

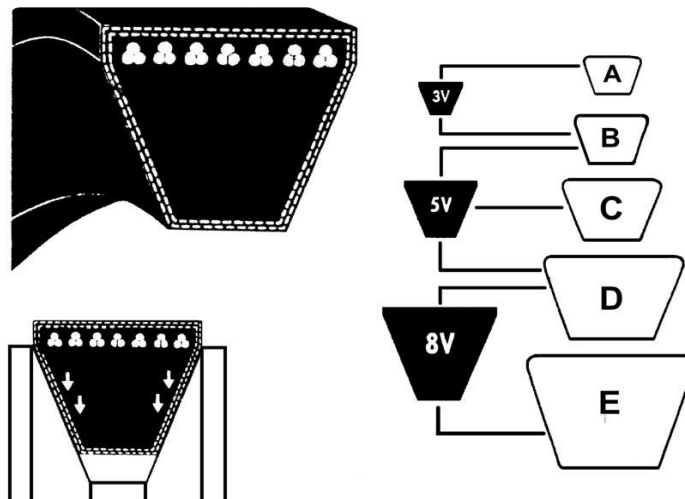
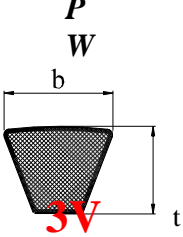


Figura 26 - Padronização de correias trapezoidais  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

A diferença entre os perfis, estão descritos na tabela 5:

<i>HI-POWER</i>	Seção	$b$ [mm]	$t$ [mm]	Faixa recomendada de diâmetros para a polia menor [mm]		
				$d_m$ ín	$d_m$ áx	$d_{limite}$
	A	13	8	7	1	710
				6	2	
	B	17	11	1	1	1000
				2	8	
				7	8	
	C	22	14	1	3	1600
				8	3	
				8	0	

	<b>D</b>	32	19	3 3 0	4 3 2	2000
	<b>E</b>	38	23	4 3 2	7 1 0	2500
	<b>3 V</b>	9.5	8	6 8	3 0 4	–
	<b>5 V</b>	16	13.5	1 8 0	4 0 6	–
	<b>8 V</b>	25.4	22	3 2 0	5 7 0	–
$\varphi = \text{ângulo da correia "V"} (34^\circ \text{ a } 42^\circ)$						

**Tabela 5 - Vida útil da correia em %**  
 Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

### 2.3.12. Passos para a seleção de correias trapezoidais

O procedimento para a seleção da correia mais adequada segue a seguinte sequência ou passos:

- 1º. Determinação da potência de projeto;
- 2º. Escolha da seção mais adequada;
- 3º. Cálculo da potência transmitida por 1 correia;
- 4º. Determinação do número de correias;
- 5º. Determinação do comprimento e especificação da correia.

## 1 - Potência de Projeto – $Php$

$$Php = P \cdot Fs$$

Tabela 6: Perfis das correias

Onde:

- P = Potência do motor;
- $Fs$  = Fator de serviço.

Normalmente, em uma transmissão, é conhecida a potência da máquina ( $P$ ). Esta deve ser multiplicada por um “fator de serviço” que levará em consideração certas condições de funcionamento, tais como o arranque, o tempo de funcionamento, a carga, o tipo de choque e etc. Quando a potência da máquina conduzida for conhecida esta pode ser utilizada como potência de projeto ( $Php$ ).

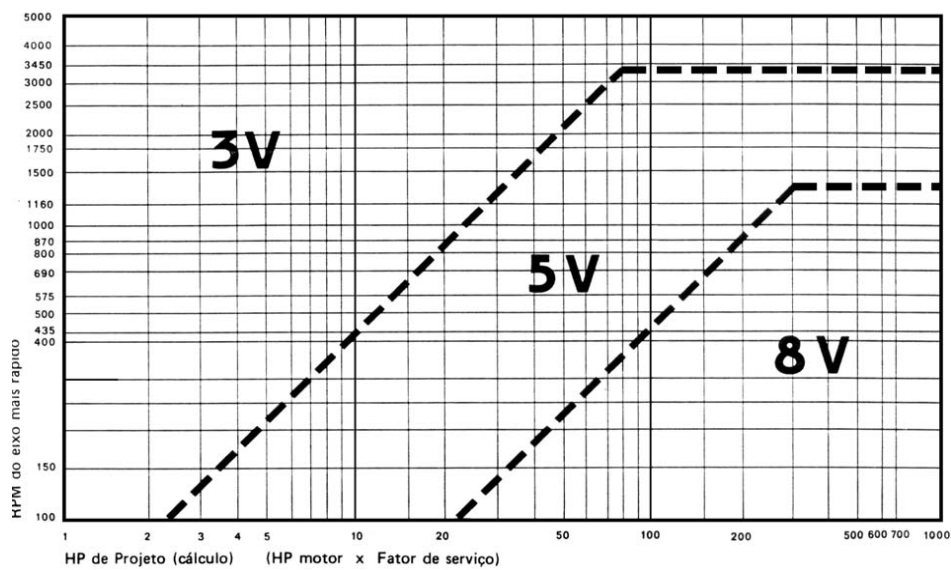
<b>TIPO DE TRABALHO</b>	<b>FATOR DE SERVIÇO</b>	<b>CONDIÇÃO DE TRABALHO</b>
LEVE	1.0	Utilização: uso intermitente, menos de 6 h/dia Sem sobrecarga.
NORMAL	1.2	Utilização: 6 a 16 h/dia Sobrecarga momentânea, < 150 % da carga nominal.
MÉDIO	1.4	Utilização: 16 a 24 h por dia. Sobrecarga momentânea, < 200 % da carga nominal.
PESADO	1.6	Utilização: 16 a 24 h/dia Sobrecarga momentânea, < 250 % da carga nominal.
EXTRA-PESADO	1.8 – 2.0	Utilização: 24 h/dia, 7 dias/semana. Sobrecarga freqüente, < 250 % da carga nominal.

Tabela 6 - Padronização de correias trapezoidais  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

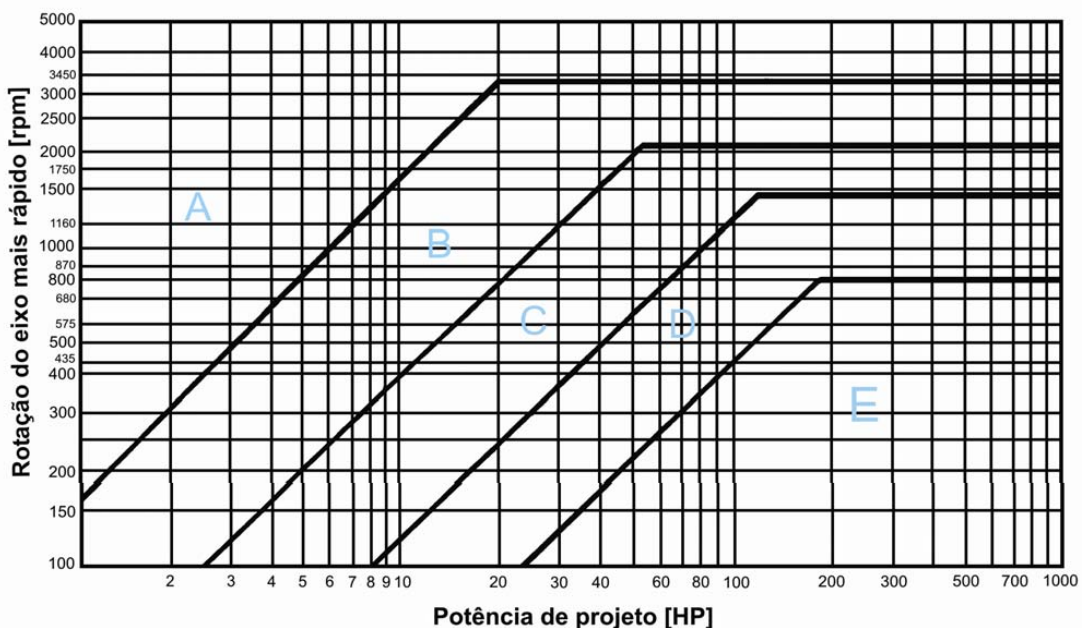
## 2 – Escolha da seção:

A determinação da seção mais adequada à transmissão é feita utilizando-se os gráficos mostrados nas figuras abaixo. Deve-se decidir previamente o tipo de correia a ser utilizado (*Hi-Power* ou *PW*). Em seguida deve-se encontrar a interseção entre a rotação da polia menor (ou eixo mais rápido) e a potência de projeto ( $P_{hp}$ ), calculada no 1º passo. A região onde estiver a interseção mostrará o perfil mais indicado.

## 3 – Cálculo de potência transmitida por uma Correia:



**Gráfico 1: Determinação da seção das correias 3V, 5V e 8V**  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)



**Gráfico 2 - Determinação da seção das correias A, B, C, D e E**  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)



$$P_{\text{correia}} = (HP_{\text{básico}} + HP_{\text{adicional}}) \cdot FI$$

Onde:

- **HP básico** = a capacidade de transmissão da correia, caso as polias possuam o mesmo diâmetro;
- **HP adicional** = fator de correção aplicado devido a diferença entre os diâmetros das polias; depende da relação de transmissão.

Ambos os valores são tabelados e para cada tipo de perfil de correia, tem-se uma tabela diferente, para o nosso projeto utilizamos a tabela referente às correias de perfil A:



- Especificar o comprimento real utilizando a tabela

Então o valor de FI, deve ser definido conforme tabela abaixo:

Designação o do tamanho	Fator de correção - $F_L$				
	A	B	C	D	E
26	0.78				
31	0.82				
35	0.85	0.80			
38	0.87	0.82			
42	0.89	0.84			
46	0.91	0.86			
51	0.93	0.88	0.80		
55	0.95	0.89	0.81		
60	0.97	0.91	0.83		
68	1.00	0.94	0.85		
75	1.02	0.96	0.87		
80	1.04	0.97	0.88		
81	1.045	0.98	0.89		
85	1.05	0.99	0.90		
90	1.07	1.00	0.91		
96	1.08	1.01	0.92		
97	1.09	1.02	0.93		
105	1.10	1.03	0.94		
112	1.12	1.05	0.95		
120	1.13	1.06	0.96	0.86	
128	1.15	1.08	0.98	0.89	
144		1.10	1.00	0.91	
158		1.12	1.02	0.93	
173		1.14	1.04	0.94	
180		1.15	1.05	0.95	0.92
195		1.17	1.06	0.96	0.93
210		1.18	1.07	0.98	0.95
240		1.22	1.10	1.00	0.97
270		1.24	1.13	1.02	0.99
300		1.27	1.15	1.04	1.01
330			1.17	1.06	1.03
360			1.18	1.07	1.04
390			1.20	1.09	1.06
420			1.21	1.10	1.07
480				1.13	1.09
540				1.15	1.11
600				1.17	1.13
660				1.18	1.15

Tabela 10 - Fator de correção para o comprimento – FI  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

#### 4 – Número de correias:

Assim, o nº de correias ( $N$ ) mais adequado à transmissão é determinado através da relação entre a potência a ser transmitida ( $Php$ ) e a capacidade de transmissão da correia escolhida ( $P_{correia}$ ). Esta relação é expressa pela equação:

$$N = \frac{Php}{(P_{correia} \cdot Ca)}$$

Onde:

- $Ca$  = fator de correção para o arco de contato, conforme tabela a seguir:

$\frac{(D-d)}{c}$	Ângulo de contato [°]	Fator de correção - $Ca$	
		V-V	V-plana
0.0	180	1.00	0.75
0.1	174	0.99	0.76
0.2	169	0.97	0.78
0.3	163	0.96	0.79
0.4	157	0.94	0.80
0.5	151	0.93	0.81
0.6	145	0.91	0.83
0.7	139	0.89	0.84
0.8	133	0.87	0.85
0.9	127	0.85	0.86
1.0	120	0.82	0.82
1.1	113	0.80	0.80
1.2	106	0.77	0.77
1.3	99	0.73	0.73
C1.4	91	0.70	0.70
1.5	83	0.65	0.65

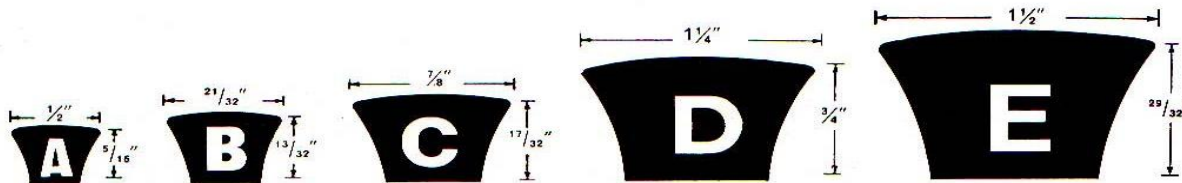
Tabela 11 - Fator de correção para o arco de contato –  $Ca$   
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

#### 5 – Comprimento da correia (L):

Calcula-se o comprimento através da equação reproduzida abaixo

$$L_{\text{calculado}} = 2.c + (\pi/2).(D+d) + (D-d)^2 / (4.c)$$

Após realizar o cálculo do comprimento da correia, deve-se procurar na tabela *standard* de comprimento de correias, o comprimento mais próximo ao calculado.



**COMPRIMENTOS STANDARD**

PERFIL A			PERFIL B			PERFIL C			PERFIL D			PERFIL E		
Ref.	CIRCUNF. PITCH		Ref.	CIRCUNF. PITCH		Ref.	CIRCUNF. PITCH		Ref.	CIRCUNF. PITCH		Ref.	CIRCUNF. PITCH	
	Pol.	mm		Pol.	mm		Pol.	mm		Pol.	mm		Pol.	mm
A-26	27.3	695	B-35	36.8	935	C-51	53.9	1370	D-120	123.3	3130	180	184.5	4685
31	32.3	820	38	39.8	1010	55	57.9	1470	128	131.3	3335	195	199.5	5065
33	34.3	870	42	43.8	1110	60	62.9	1595	136	139.3	3540	202	206.5	5245
35	36.3	920	46	47.8	1215	68	70.9	1800	144	147.3	3740	210	214.5	5448
38	39.3	1000	48	49.8	1265	75	77.9	1980	158	161.3	4095	225	229.5	5830
41	42.3	1075	50	51.8	1315	81	83.9	2130	162	165.3	4200	240	241.0	6120
42	43.3	1100	51	52.8	1340	85	87.9	2230	173	176.3	4480	270	271.0	6885
46	47.3	1200	53	54.8	1390	90	92.9	2360	180	183.3	4655	300	301.0	7645
50	51.3	1305	55	56.8	1440	96	98.9	2510	195	198.3	5035	325	326.0	8280
51	52.3	1330	60	61.8	1570	100	102.9	2615	210	213.3	5340	330	331.0	8405
53	54.3	1780	63	64.8	1645	105	107.9	2740	225	225.8	5735	360	361.0	9170
54	55.3	1405	64	65.8	1670	112	114.9	2920	240	240.8	6115	390	391.0	9930
55	56.3	1430	65	66.8	1695	120	122.9	3120	270	270.8	6880	420	421.0	10695
60	61.3	1560	68	69.8	1770	128	130.9	3325	300	300.8	7640	480	481.0	12215
62	63.3	1610	71	72.8	1850	136	138.9	3530	330	330.8	8400			
64	65.3	1660	75	76.8	1950	144	146.9	3730	360	360.8	9165			
68	69.3	1760	78	79.8	2025	158	160.9	4085	390	390.8	9925			
71	72.3	1835	81	82.8	2105	162	164.9	4190	420	420.8	10690			
75	76.3	1940	85	86.8	2205	173	175.9	4465	480	480.8	12210			
80	81.3	2065	90	91.8	2330	180	182.9	4645						
85	86.3	2190	93	94.8	2405	195	197.9	5025						
90	91.3	2320	95	96.8	2460	210	212.9	5405						
96	97.3	2470	97	98.8	2510	225	225.9	5740						
105	106.3	2700	105	106.8	2710	240	240.9	6120						
112	113.3	2875	112	113.8	2890	255	255.9	6500						
120	121.3	3080	120	120.8	3070	270	270.9	6880						
128	129.3	3285	124	125.8	3195	300	300.9	7640						
136	137.3	3485	128	129.8	3295	330	330.9	8405						
144	145.3	3690	136	137.8	3500	360	360.9	9165						
158	159.3	4045	144	145.8	3705	390	390.9	9930						
162	163.3	4145	158	159.8	4060	420	420.9	10690						
173	174.3	4425	162	163.8	4160									
180	181.3	4605	173	174.8	4440									
			180	181.8	4615									
			195	196.8	5000									
			210	211.8	5380									
			225	225.3	5720									
			240	240.3	6105									
			270	270.3	6865									
			300	300.3	7625									
			330	330.3	8390									
			360	360.3	9150									

Obs.: O número que aparece após a letra designativa do perfil indica a circunferência interna em polegadas.  
Ex.: A-31—Perfil A com 31" de circunferência interna.

Tabela 12: Comprimentos standard das correias  
Fonte: (Elementos de transmissão flexíveis, 2009)

Algumas vezes pode ser necessário recalcular a distância entre centros (*Creal*) em função do comprimento real da correia. Substituindo o valor de *Lreal* na equação, vem:

onde:

$$C_{real} = \frac{K + \sqrt{K^2 - 32 \cdot (D-d)^2}}{16}$$

## 2.4. Materiais

$$\bullet K = 4 \cdot L_{real} - 2 \cdot \pi \cdot (D + d)$$

### 2.4.1. Aços

Aços são ligas ferro-carbono com teor de carbono de até 2% em peso. É de longe o material mais amplamente empregado na fabricação de bens de consumo e bens de produção, nas indústrias, na fabricação de máquinas, veículos automotores, na construção civil, etc. O aço é utilizado para fabricar quase tudo, desde uma agulha de costura até tanques de armazenamento de óleo.

Os aços carbono são de longe os mais produzidos, constituindo cerca de 90 % da produção mundial. Eles são geralmente agrupados em aços de alto carbono  $C > 0,5\%$ ; médio carbono  $0,2\% < \%C < 0,49\%$ ; aços de baixo-carbono com teores entre 0,05% e 0,19%; aços de carbono extra baixo com  $0,015\% < \%C < 0,05\%$  e aços de ultrabaixo carbono com  $\%C < 0,015\%$ . Os aços carbono são também definidos como contendo menos que 1,65% Mn, 0,6 %Si e 0,6% Cu, com o teor total dos outros elementos não excedendo 2%.

Os vários tipos de aço utilizados na indústria da construção mecânica podem ser classificados de acordo com o sistema de codificação SAE/AISI que usa em geral quatro algarismos na forma ABXX onde A e B são números que identificam os principais elementos de liga presentes no aço e seus teores, dados em porcentagem em peso. Já os algarismos XX indicam a porcentagem em peso de carbono do aço multiplicado por 100. Assim um aço 1045 é um aço carbono (10XX) contendo 0,45% em peso de carbono em sua composição química. Os aços carbono de médio carbono são utilizados na fabricação de eixos, engrenagens, girabrequins e forjados em geral. Aços de alto teor de carbono (p.e. 1070) são utilizados na fabricação de molas e arames de alta resistência.



Figura 27 - Exemplo de Aço carbono utilizado em indústrias

Designação		Tipos de Aço
SAE	AISI	
10XX	C10XX	Aços carbono comuns
11XX	C11XX	Aços de usinagem (ou corte) fácil, com alto S
13XX	13XX	Aços manganês com 1,75% de Mn
23XX	23XX	Aços níquel com 3,5% de Ni
25XX	25XX	Aços níquel com 5,0% de Ni
31XX	31XX	Aços níquel cromo com 1,25% de Ni e 0,65% de Cr
33XX	E33XX	Aços níquel cromo com 3,5% de Ni e 1,55% de Cr
40XX	40XX	Aços molibdênio com 0,25% de Mo
41XX	41XX	Aços cromo molibdênio com 0,50% ou 0,90% de Cr e 0,12% ou 0,20% de Mo
43XX	43XX	Aços níquel cromo molibdênio com 1,80% de Ni, 0,50% ou 0,80% de Cr e 0,25% de Mo
46XX	46XX	Aços níquel molibdênio com 1,55% ou 1,80% de Ni e 0,20% ou 0,25% Mo
47XX	47XX	Aços níquel cromo molibdênio com 1,05% de Ni, 0,45% de Cr e 0,20% de Mo
48XX	48XX	Aços níquel molibdênio com 3,50% de Ni e 0,25% de Mo
50XX	50XX	Aços cromo com 0,28% ou 0,65% de Cr
50BXX	50BXX	Aços cromo boro com baixo teor de Cr e no mínimo 0,0005% de B
51XX	51XX	Aços cromo com 0,80% a 1,05% de Cr
61XX	61XX	Aços cromo vanádio com 0,80% ou 0,95% de Cr e 0,10% ou 0,15% de v
86XX	86XX	Aços níquel molibdênio com baixos teores de Ni, Cr e Mo
87XX	87XX	Idem
92XX	92XX	Aços silício manganês com 0,85% de Mn e 2,0% de Si
93XX	93XX	Aços níquel cromo molibdênio com 3,25% de Ni, 1,20% de Cr e 0,12% de Mo
94BXX	94BXX	Aços níquel cromo molibdênio com baixo teores de Ni, Mo e no min. 0,0005% de B
98XX	98XX	Aços níquel cromo molibdênio com 1,0% de Ni, 0,80% de Cr e 0,25% de Mo

Tabela 13: Tipos de aço (Aço carbono e aços liga, 1971)

### 2.4.2. Tubos mecânicos

Os Tubos Mecânicos possuem diversas aplicações. Por terem alta resistência são muito indicados para a áreas da construção mecânica e principalmente na fabricação de peças.

Ainda podem ser utilizados na produção de buchas, mancais, camisas de cilindros hidráulicos, eixos etc.

A indústria automobilística, empresas de fabricação de peças e aquelas que precisam de alta resistência à tração e elevado limite de escoamento são as que mais utilizam esses tubos.

Tubos Mecânicos são aplicados em diversos segmentos, principalmente nesses a seguir:

- Fábricas de Álcool e Açúcar;
- Indústria de Mineração;
- Indústria de Papel e Celulose;
- Indústria Gráfica e Têxtil;
- Indústria Naval;
- Indústria Offshore;
- Indústria Siderúrgica;
- Máquinas e Equipamentos Agrícolas;
- Máquinas e Equipamentos para Construção Civil;
- Máquinas e Equipamentos Rodoviários;
- Setor Automotivo.

As paredes dos Tubos Mecânicos são muito grossas, capazes de suportar um grande peso e vários outros tipos de esforços físicos.



#### 2.4.2.1 Principais características dos Tubos Mecânicos

As principais características dos Tubos Mecânicos são: sua excelente soldabilidade, resistência mecânica, versatilidade e grande durabilidade. Ainda possuem essas outras importantes características:

- Dimensões próximas às medidas acabadas das peças;
- Tolerâncias uniformes de espessura de parede;
- Excentricidade pequena;
- Tolerâncias reduzidas de diâmetro;
- Propriedades mecânicas e características de usinabilidade definidas;
- A otimização da usinabilidade reduz o gasto com ferramentas de corte, diminuindo o custo global de produção;
- Ganho e produtividade através da possibilidade de aumento da velocidade de corte;
- A utilização de Tubos Mecânicos reduz a perda de material.

O que deixa esse tipo de tubo com mais dureza, ductilidade e força, é a adição de cromo e molibdênio como elementos de liga em combinação com o tratamento térmico.

Por conta das suas propriedades, o Tubo Mecânico é uma peça que se deforma e tensiona de acordo com o tipo de uso e material que é fabricado. É capaz de suportar forças de alto impacto.

Possui diversos benefícios, entre os principais podemos destacar esses a seguir:

- Alta resistência à corrosão;
- Baixo custo de manutenção;
- Facilidade de conformação;

- Facilidade de soldagem e união;
- Relação custo-benefício favorável;
- Resistência a temperaturas baixas e altas;
- Suporta forças de alto impacto.



**Figura 28 - Tubos mecânicos**  
Fonte: (grupo VILLEFER, 2021)

#### **2.4.2.2. Tipos de Tubos Mecânicos**

Existem ainda variados modelos de Tubos Mecânicos, contudo, o mais conhecido e utilizado pelas empresas é o ST 52. Os tubos ainda podem ser laminados e trefilados.

Os Tubos Mecânicos laminados são conhecidos por serem mais leves em relação a outras estruturas tubulares, por possuírem propriedade mecânica de alta qualidade, proporcionarem escoamento de fluidos de boa praticidade e por serem bastante resistentes.

- São utilizados em diversas ocasiões, bastante procurados por indústrias de diferentes segmentos. São usados na formação de alicerces para máquinas e úteis na estruturação de plataformas ou pontes rolantes.
- Muito procurados por indústrias petrolíferas, mecânicas ou automobilísticas, devido apresentarem excelente propriedade de

usinagem. São tubos fáceis de serem soldados, pelo motivo de sua soldabilidade apresentar caráter ilimitado.

- Esses tubos são aplicados também durante a fabricação de componentes como tanques ou cilindros, em diferentes setores industriais.
- Já os tubos trefilados, sejam com ou sem costura, passam por um processo de trefilação a frio. Nesse processo, o tubo é estirado através de uma matriz chamada fieira por meio de uma força de tração, deformando as dimensões do tubo original.
- Esse processo citado acima permite variadas dimensões e perfis especiais aos Tubos Mecânicos, além da redução da faixa de tolerância.
- É possível adquirir tubos trefilados longos ou já cortados e usinados, inclusive feito com corte a laser. É possível também fazer diversas etapas de tratamento térmico para mudar o estado de fornecimento do tubo.
- Após a trefilação, os tubos podem receber outras etapas, tais como corte, escovamento, chanfragem, furação e outras operações de usinagem.
- Existem ainda os perfis de Tubos Mecânicos trefilados, como por exemplo: Redondo, Quadrado, Retangular, Oblongo, Elíptico, Sextavado, Oitavado, Especiais. Com dimensões e tolerâncias diversas, como por exemplo:
- Diâmetro externo: de 10,00 mm à 110,00 mm;
- Espessura: de 1,00 mm à 8,00 mm;
- Comprimento: até 7.000 mm;
- Blanks: a partir de 10,00 mm;
- Tolerâncias conforme especificadas pelas normas.

### **2.4.3. Alumínio**

O alumínio é utilizado na indústria de acordo com o seu segmento, cada qual o utiliza conforme suas finalidades.

**Perfis extrudados** – são produzidos pelo processo denominado extrusão, no qual o alumínio é submetido a uma prensa hidráulica de grande capacidade, e que o força a passar por uma matriz de aço com a forma desejada, transformando-se em esquadrias (portas e janelas), forros, divisórias, acessórios para banheiros, estruturas pré-fabricadas, carrocerias para caminhões, autopeças, componentes de bicicletas, frisos para eletrodomésticos, componentes de máquinas, dissipadores de calor, vagões ferroviários, além de elementos para decoração. A indústria da construção civil absorve aproximadamente 60% dos extrudados de alumínio;

**Chapas e laminados** – são transformados em latas de alumínio, pisos e carrocerias para ônibus e caminhões, construção naval, telhas e fachadas, além de utensílios domésticos, tais como tubos e bisnagas para dentifrícios e aerossóis;

**Folhas** – de acordo com as várias espessuras em que são produzidas servem para embalagens rígidas, flexíveis, descartáveis, etc.;

**Fios e cabos** – possuem larga aplicação nos serviços de transmissão de energia elétrica, como condutores, através de cabos isolados ou nus;

**Fundidos e forjados** – aplicados principalmente na indústria de transportes, onde aproximadamente 60% do consumo de alumínio dá-se através de componentes fundidos, como as caixas de câmbio, carcaça de motores e rodas de veículos;

**Pastas e pó** – nesta forma as aplicações são extremamente variadas, pois podem servir como desoxidantes na indústria siderúrgica e explosivos para mineração até medicamentos antiácidos, como hidróxidos e cloridróxidos de alumínio, passando por tintas, produtos químicos, farmacêuticos e para tratamento de água de piscinas, na forma de sulfato de alumínio;

**Aluminas especiais** – são transformadas em refratários, revestimentos cerâmicos, abrasivos, vidros, porcelanas, massas de polimento, isoladores elétricos, pastilhas de freio, tintas e corantes, entre outros.



Imagem 29: Exemplos de utilização do alumínio

#### 2.4.3.1 Polias de alumínio

A Polia de alumínio pode facilitar a realização de algumas tarefas, dependendo da maneira com que elas são interligadas.

A polia de alumínio é fabricada em todos os perfis, materiais. Padrão ou sob desenho, são componentes para a transmissão de força, cumprindo principalmente a função de transporte nos processos industriais de vários ramos.

As polias de alumínio são utilizadas para sincronizar transmissões de velocidades e são produzidas focando a resistência e a eficácia na transmissão de forças. Esses equipamentos são desenvolvidos para oferecer um elevado desempenho, levando em conta custo otimizado. A utilização da polia de alumínio é essencial para o funcionamento de inúmeros equipamentos e maquinários, elas podem oferecer diversas vantagens como:

- Funcionamento silencioso;
- Alto rendimento;
- Absorção de vibrações e choques mecânicos;
- Facilidade de instalação e manutenção;
- Possibilidade de obter uma grande gama de velocidades;
- Apresenta baixo peso;
- Ótimo acabamento;

- Excelente dissipação de calor, garantindo maior durabilidade das correias.

Muito recomendada para diversos equipamentos, a polia de alumínio tende a facilitar partidas e reduzir o peso total da máquina.



**Figura 30 - Polias de alumínio**  
Fonte: site da POLIAS RIO DOCE, 2021)

## 2.5. Normas aplicáveis

O desenvolvimento de um protótipo de dispositivo de segurança quer atender aos requisitos da NR-12 aplicadas à furadeira de bancada garantindo o baixo custo e a segurança do operador, reduzindo o índice de acidentes registrados. O projeto torna-se relevante, pois possibilita o aumento do número de máquinas e equipamentos nas indústrias com sistemas de segurança confiáveis e que estão em consonância com a legislação.

A Norma Regulamentadora 12 (BRASIL, 2013b) e seus anexos propõem princípios e medidas de segurança que garantem a saúde e a integridade dos trabalhadores, designando princípios para prevenção de acidentes e doenças no trabalho em máquinas e equipamentos, desde sua fabricação até sua utilização. O empregador por sua vez deve adotar medidas de segurança que estabeleçam requisitos de proteção, que é dita em dada sequência medida de proteção coletiva, medida administrativa e de proteção individual. Medida de proteção coletiva corresponde à implantação de proteções físicas nas áreas de risco. Medida de proteção administrativa corresponde ao treinamento dos colaboradores para garantir

o funcionamento dos sistemas de segurança. Medida de proteção individual corresponde à utilização diária e no fornecimento e cobrança por EPIs.

De acordo com a NR-12, (BRASIL, 2013b) os comandos devem impedir o funcionamento, quando houver a energização da máquina. As máquinas e equipamentos devem ser equipados com dispositivos que impossibilite o acionamento por pessoas não autorizadas, evitando risco à saúde. Dispositivos responsáveis por acionamento e parada devem ser instalados de modo que:

- Não estejam localizados em zonas de perigo;
- Outras pessoas possam desligar ou acionar a emergência em casos de perigo;
- Impossibilite o desacionamento indesejado;
- Não crie riscos adicionais;
- Impossibilite a burla.

As máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, com aspectos de proteções mecânicas, fixas e móveis e dispositivos de segurança e controle interligados.

Segundo a Norma Regulamentadora 10, (BRASIL, 2015b) todo o projeto elétrico deve ser seguro o suficiente para evitar perigos como choque, incêndio, explosões e longe ou protegidos de meios corrosivos, devem também possuir aterramento. As instalações elétricas devem assegurar a resistência mecânica de todos os fios energizados e também a instalação de dispositivos de sobre corrente e sobre tensão que garantem a proteção contra elevações.

Conforme a Norma de Análise de Riscos, NBR 14153 (ABIMAQ, 1989), a apreciação e análises de riscos são compostas por essa norma técnica, com intuito de analisar os riscos associados a máquinas e equipamentos, impondo a categoria pertencente para construções de equipamento de segurança. Sendo comum que se possua mais de uma categoria, deve-se analisar todo o perímetro da máquina ou equipamento, considerado quaisquer riscos possíveis desde a operação à manutenção.

## 2.6. Rolamentos

Rolamento é um componente que permite movimento rotativo (controlado ou não) entre dois ou mais elementos. Ele serve para reduzir o atrito ou fricção de deslizamento entre as superfícies de contato (eixos, polias ou mancais de rolamento por exemplo).

Pode ser classificado como um componente de transmissão mecânica e utilizado em uma vasta gama de aplicações.

A função do rolamento é reduzir o atrito entre partes móveis da máquina, transmitindo uma ação de rotação, entre o rolamento e um eixo. Em sua maioria, os rolamentos consistem em um anel interno, um anel externo, vários corpos rolantes (esferas ou rolos) e uma gaiola.

Suportam cargas axiais ou radiais, reduzindo o esforço ou força de movimento em um componente.

Sua aplicação é muito ampla, é um dos elementos mais utilizados na fabricação de produtos, máquinas e ferramentas.

Sendo assim, podemos encontrar:

- Rolamentos para uso automotivo: rolamento do alternador, rolamento de roda, rolamento de caixa de direção ou rolamento da embreagem;
- Rolamentos de uso industrial: principalmente máquinas, motores e ferramentas;
- Rolamento para uso esportivo: como rolamento de bicicleta e rolamento para Skate (conhecido como Rolamento Red bones).

### 2.6.1 Rolamentos industriais

Os rolamentos industriais são aqueles em que a principal aplicação se dá em máquinas ou equipamentos. Seu uso exige elevados padrões de fabricação e uso de materiais que atendam às exigências de durabilidade e performance.



Um rolamento industrial geralmente é mais exigido do que os encontrados em comércio ou ambiente doméstico. Principalmente pela própria agressividade do ambiente em chão-de-fábrica.

Sendo assim, é um componente altamente solicitado e requer a combinação de performance e durabilidade. Ou seja, ocorrendo falha em um rolamento, tem-se prejuízos e despesas não planejadas.

Por exemplo, a parada não planejada de um equipamento em qualquer fábrica, além das despesas para a reposição do componente e da mão-de-obra de manutenção, terá o custo das perdas das horas produtivas.

## 2.7. Eixos

Eixo é um elemento mecânico rotativo ou estacionário (condição estática) de seção usualmente circular onde são montados outros elementos mecânicos de transmissão tais como: engrenagens, polias, ventiladores, rodas centradas, entre outros. Os eixos são suportados (apoiados) em mancais, de deslizamento ou rolamento, tendo seção quase sempre máxima e variável, com rasgos de chavetas para fixação de componentes.

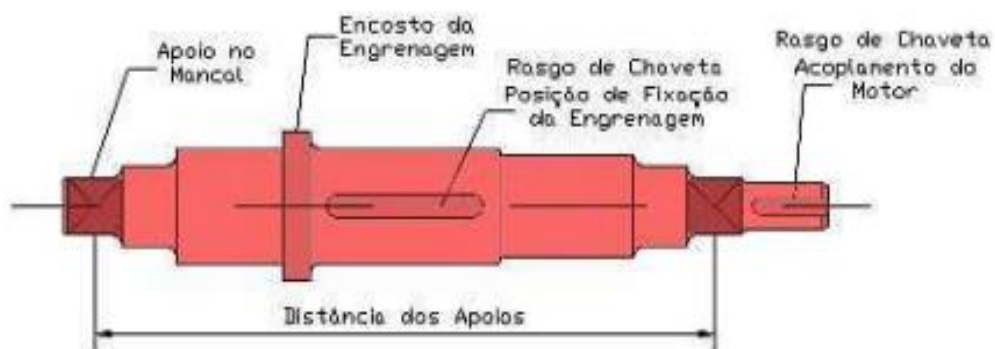


Figura 31 - Vista frontal de um eixo-árvore

Os eixos são elementos solicitados a esforços de flexão, tração/compressão ou torção, que atuam individualmente de forma combinada. Para a segurança do sistema em que o eixo está inserido, este deve ser dimensionado para cargas estáticas (parado ou com rotação muito baixa) ou dinâmica (altas rotações). Este dimensionamento leva em conta a resistência do material de que foi confeccionado, comparando-se as tensões que atuam no mesmo com os limites de resistência do material, estáticos ( $S_y$  ou  $S_u$ ) ou dinâmicos ( $S_e$  – fadiga).

Em certos sistemas mecânicos, o nível de deflexão do eixo pode constituir em um parâmetro crítico, devendo o eixo ser dimensionado usando a teoria de deflexão. Em outras palavras, a geometria do eixo deve ser definida para os limites aceitáveis de deflexão, antes da análise das tensões/resistências.

### **2.7.1 Materiais para eixos e árvores**

Há uma grande variedade de materiais possíveis para a fabricação de eixos e árvores. De acordo com o serviço devem ter alta resistência e baixa sensibilidade aos efeitos da concentração de tensão. Para se obter, em um cálculo, diâmetros menores e grandes resistências, pode-se usar aços-liga, em geral tratados termicamente.

Estes aços, porém, têm a desvantagem de serem caros e de maior sensibilidade às concentrações de tensões. Além disso, o diâmetro é muitas vezes subordinado à certas deformações admissíveis, tornando o aço-liga contra indicado, já que o problema não é mais de resistência. Os aços-carbono, de baixo e médio teor, são muito usados na fabricação de eixos e árvores.

Aços muito empregados são os seguintes: SAE 1015, 1020, 1025, 1030, 1040, 1045, 2340, 2345, 3115, 3120, 3135, 3140, 4023, 4063, 4140, 4340, 4615, 4620 e 5140. Como vemos uma grande variedade de material existe para a confecção de eixos e árvores. A seleção dependerá sempre das condições de serviço, custo, usinabilidade e características especiais por ventura exigidas.

A seleção dependerá sempre das condições de serviço, custo, usinabilidade e características especiais por ventura exigidas. É um campo muito aberto em que o projetista deve procurar sempre maiores conhecimentos, pois praticamente qualquer material ferroso, não-ferroso ou não metálico, pode ser usado, por uma razão qualquer, na execução de um eixo ou uma árvore.

### **2.7.2 Carregamento estático**

A determinação das dimensões de uma árvore é muito simples quando sujeito somente a carregamento estático, principalmente se comparado quando se tem carregamento dinâmico. E mesmo com carregamento dinâmico, muitas vezes é necessário se ter uma boa noção das dimensões das peças para se ter um bom

começo dos problemas e por isto faz-se antes uma análise como se o carregamento fosse estático.

### 2.7.3 Carregamento estático sujeito à flexão, torção e esforço axial

As tensões em um ponto na superfície de uma árvore de diâmetro (d) sujeitam flexão, torção e carregamento axial são:

$\tau_{xy} = \frac{16 T}{d^3}$ <p><b>Equação 1</b></p>	$\sigma_x = \frac{32 M}{d^3} + \frac{4 F}{d^2}$ <p><b>Equação 2</b></p>
--	---

Onde a componente axial (F) de  $\sigma_x$  pode ser positiva ou negativa. Nós observamos que há três carregamentos. Momento (M), força (F), e torque (T) aparecem na seção contendo o ponto específico na superfície. Usando o círculo de Mohr podemos mostrar que as 2 principais tensões não nulas, são:

$$a \pm b = \sigma_x \left[ \left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

**Equação 3**

Estas tensões podem ser combinadas de forma a obter a máxima tensão de cisalhamento ( $\tau_{max}$ ) e a tensão de Von Mises ( $\sigma'$ ); dando em:

$\tau_{max} = \frac{1}{2} \left( \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2} \right)$ <p><b>Equação 4</b></p>	$\sigma' = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left( \frac{\sigma_x}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2}$ <p><b>Equação 5</b></p>
---	---

Substituindo as equações (1) e (2) em (4) e (5) teremos:

$\tau_{max} = \left( \frac{2}{d^3} \right) \left( 8 M + F d^2 + 8 T^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ <p><b>Equação 6</b></p>	$\sigma' = \frac{4}{d^3} \left( 8 M + F d^2 + 48 T^2 \right)^{\frac{1}{2}}$ <p><b>Equação 7</b></p>
--	---

Estas equações nos permitem determinar  $\tau_{max}$  ou  $\sigma'$  quando o diâmetro(d) é dado ou determinar o diâmetro quando tivermos posse das tensões. Se a análise ou

projeto da árvore for baseada na teoria da máxima tensão de cisalhamento, então  $\tau_{max}$  é:

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{S_y}{2n}$$

**Equação 8**

As equações (6) e (8) são úteis para a determinação do fator de segurança(n), se o diâmetro for conhecido, ou para determinar o diâmetro se o coeficiente de segurança for conhecido.

Uma análise similar pode ser feita levando em conta a teoria da energia de distorção para falhas, onde a tensão de “Von Mises” é:

$$\frac{S_y}{n}$$

**Equação 9**

### 2.7.3 Carregamento estático sujeito à flexão e torção

Em várias aplicações, a componente axial (F) das equações (6) e (7) é próxima de zero ou tão pequena em relação às outras que pode ser desconsiderada. Daí teremos:

$\tau_{max} = \frac{16}{d^3} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}}$ <p><b>Equação 10</b></p>	$\frac{16}{d^3} \left[ 4 M^2 + 3 T^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ <p><b>Equação 11</b></p>
--	--

É mais fácil resolver estas equações para se encontrar o diâmetro. Substituindo as equações (8) e (9) nós temos:

$$d = \left[ \frac{32n}{S_y} (M^2 + T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

**Equação 12**

Usando a teoria de máxima tensão de cisalhamento, se o diâmetro for conhecido, calcula-se n da seguinte forma:

$$\frac{1}{n} = \frac{32}{d^3 S_y} M^2 T^2 \frac{1}{2}$$

**Equação 13**

Se usarmos como base a teoria de energia de distorção, teremos:

$d = \left[ \frac{16 n}{S_y} \left( 4 M^2 + 3 T^2 \right) \frac{1}{2} \right]^{\frac{1}{3}}$ <p><b>Equação 14</b></p>	$\frac{1}{n} = \frac{16}{d^3 S_y} \left( 4 M^2 + 3 T^2 \right) \frac{1}{2}$ <p><b>Equação 15</b></p>
---	--

Onde:

n = fator de segurança

n = 1,5 a 2,0

S<sub>y</sub> = limite de escoamento do material.

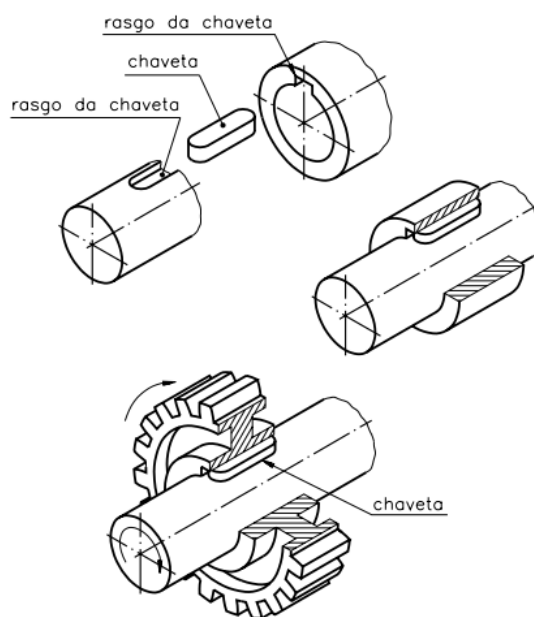
M = momento Máximo no eixo.

T = torque máximo.

## 2.8. Chavetas

É um elemento mecânico fabricado em aço. Sua forma, em geral, é retangular ou semicircular. A chaveta se interpõe numa cavidade de um eixo e de uma peça. A chaveta tem por finalidade ligar dois elementos mecânicos.

Classificação:



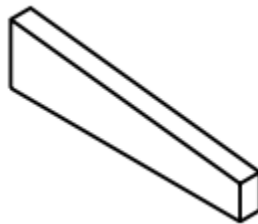
**Figura 32 – Aplicação de uma Chaveta**  
 Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

As chavetas se classificam em:

- chavetas de cunha;
- chavetas paralelas;
- chavetas de disco.

### 2.8.1. Chaveta de cunha

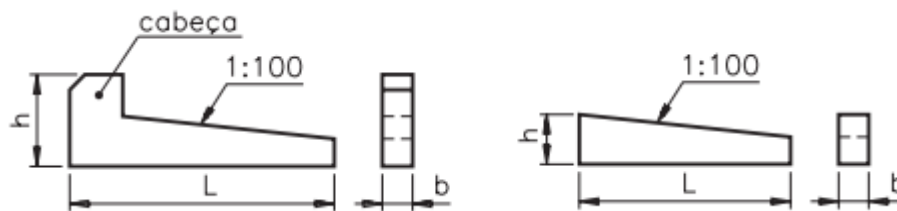
As chavetas têm esse nome porque são parecidas com uma cunha. Uma de suas faces é inclinada, para facilitar a união de peças.



**Figura 33 - Chaveta de cunha**  
 Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.2. Chaveta longitudinal

São colocadas na extensão do eixo para unir roldanas, rodas, volantes etc. Podem ser com ou sem cabeça e são de montagem e desmontagem fácil.



**Figura 34 - Chaveta longitudinal**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

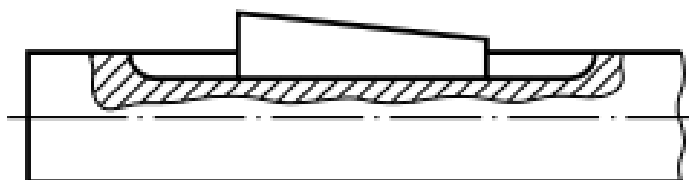
Sua inclinação é de 1:100 e suas medidas principais são definidas quanto a:

- altura (h);
- comprimento (L);
- largura (b).

As chavetas longitudinais podem ser de diversos tipos: encaixada, meia-cana, plana, embutida e tangencial. Veremos as características de cada desses tipos.

### 2.8.3. Chaveta encaixada

São muito usadas. Sua forma corresponde à do tipo mais simples de chaveta de cunha. Para possibilitar seu emprego, o rasgo do eixo é sempre mais comprido que a chaveta.

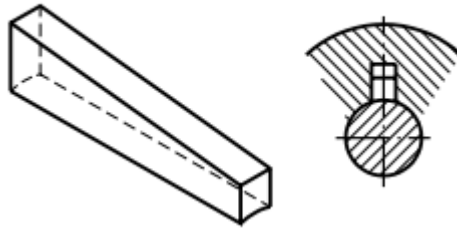


**Figura 35 - Chaveta encaixada**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.4. Chaveta meia-cana

Sua base é côncava (com o mesmo raio do eixo). Sua inclinação é de 1:100, com ou sem cabeça. Não é necessário rasgo na árvore, pois a chaveta transmite o movimento por efeito do atrito. Desta forma, quando o esforço no elemento conduzido for muito grande, a chaveta desliza sobre a árvore.

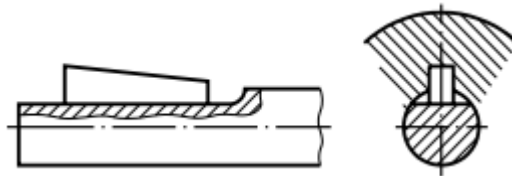


**Figura 36 - Chaveta meia-cana**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.5. Chaveta plana

Sua forma é similar à da chaveta encaixada, porém, para sua montagem não se abre rasgo no eixo. É feito um rebaixo plano.

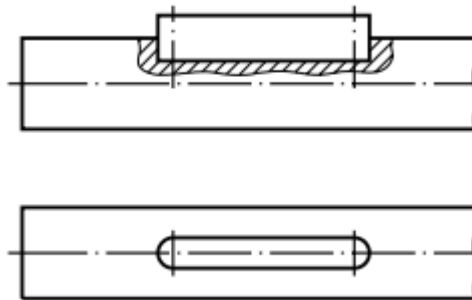


**Figura 37 - Chaveta plana**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.6. Chaveta embutida

Essas chavetas têm os extremos arredondados, conforme se observa na vista superior ao lado. O rasgo para seu alojamento no eixo possui o mesmo comprimento da chaveta. As chavetas embutidas nunca têm cabeça.



**Figura 38 - Chaveta embutida**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.7. Chaveta tangencial

Formadas por um par de cunhas, colocado em cada rasgo. São sempre utilizadas duas chavetas, e os rasgos são posicionados a  $120^\circ$ . Transmitem fortes cargas e são utilizadas, sobretudo, quando o eixo está submetido a mudança de carga ou golpes.



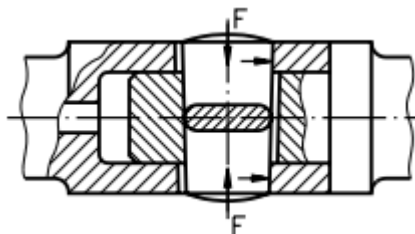


**Figura 39 - Chaveta tangencial**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.8. Chaveta transversal

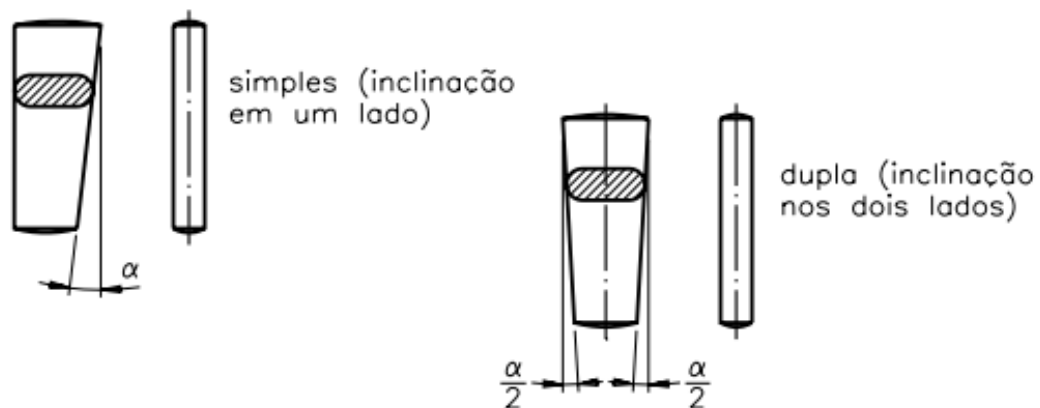
São aplicadas em união de peças que transmitem movimentos rotativos e retilíneos alternativos.



**Figura 40: Chaveta transversal encaixada**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

Quando as chavetas transversais são empregadas em uniões permanentes, sua inclinação varia entre 1:25 e 1:50. Se a união se submete a montagem e desmontagem frequentes, a inclinação pode ser de 1:6 a 1:15.



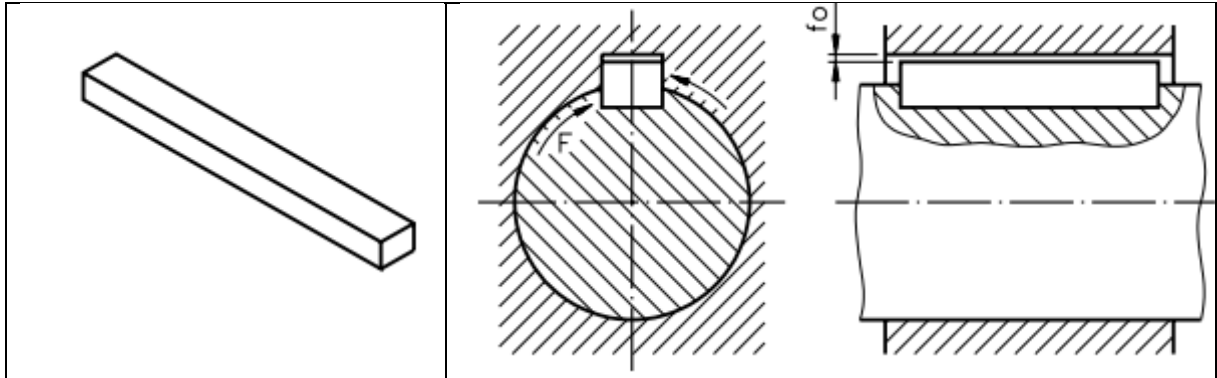
**Figura 41 - Inclinação da chaveta transversal**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.9. Chavetas paralelas ou linguetas

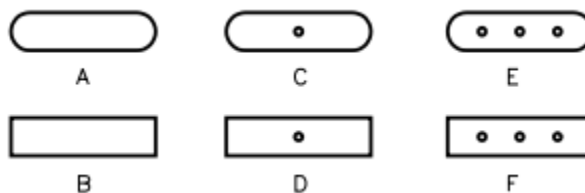
Essas chavetas têm as faces paralelas, portanto, não têm inclinação.

A transmissão do movimento é feita pelo ajuste de suas faces laterais às laterais do rasgo da chaveta. Fica uma pequena folga entre o ponto mais alto da chaveta e o fundo do rasgo do elemento conduzido.



**Figura 42 - Chaveta paralela e forma de utilização**  
 Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

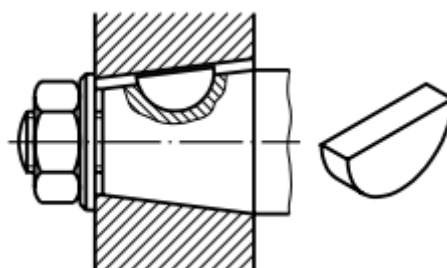
As chavetas paralelas não possuem cabeça. Quanto à forma de seus extremos, eles podem ser retos ou arredondados. Podem, ainda, ter parafusos para fixarem a chaveta ao eixo.



**Figura 43 - Exemplos de formatos de chavetas paralelas**  
 Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.10 Chaveta de disco ou meia-lua (tipo Woodruff)

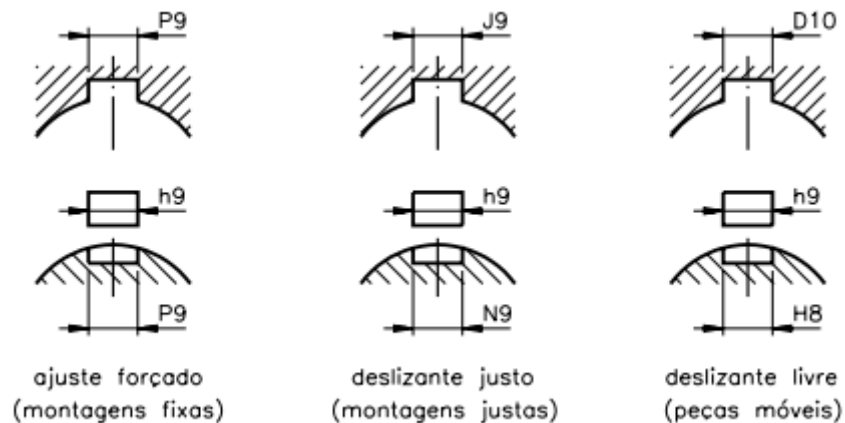
É uma variante da chaveta paralela. Recebe esse nome porque sua forma corresponde a um segmento circular, é comumente empregada em eixos cônicos por facilitar a montagem e se adaptar à conicidade do fundo do rasgo do elemento externo.



**Figura 44 - Utilização de chaveta meia-lua**  
 Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

### 2.8.11 Tolerâncias para chavetas

O ajuste da chaveta deve ser feito em função das características do trabalho. A imagem 45 mostra os três tipos mais comuns de ajustes e tolerâncias para chavetas e rasgos.



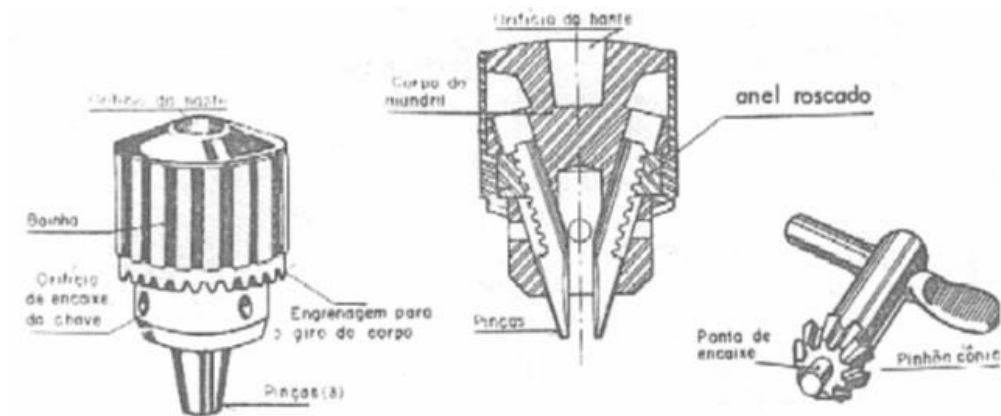
**Figura 45 - Tolerâncias para chavetas e rasgos**  
Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

## 2.9. Mandril

O mandril é um dos principais componentes de ferramentas utilizadas para furar, torner, desbastar e parafusar peças. É muito utilizado, portanto, em furadeiras, parafusadeiras, marteletes, fresadoras, retíficas, tornos mecânicos e outros equipamentos.

Com a finalidade de prender brocas, fresas, pontas montadas e bits para fixar parafusos, o mandril é constituído por partes móveis muito sensíveis, que são reguladas manualmente através de uma coroa dentada, e por castanhas, que fixam a broca conforme e apertada. Em alguns casos, pode-se utilizar uma chave de mandril para auxiliar no aperto. Os mandris estão disponíveis em variados tamanhos e modelos. Cada um desempenha uma atividade diferente, definida pela capacidade e potência do equipamento onde está sendo utilizado. Eles podem ser acoplados a esses equipamentos através de roscas, cones ou hastes.

### 2.9.1. Tipos de mandril para furadeira



**Figura 46 - Vista cortada de um mandril**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)



**Figura 47 - Mandril de boca cilíndrica**

Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

Existe uma grande variedade de modelos, como o mandril para furadeira com sistema de impacto broca cilíndrica. As diferenças entre os tipos de mandris estão na capacidade de abertura. Modelos de furadeiras manuais de alta e média rotação, da linha leve, profissional e hobby, têm mandril com capacidade para broca cilíndrica para aço ou alvenaria de 1 a 10 mm, ou de 1 a 13 mm, e são fixados por rosca de 20 e 24 fios, porque executam serviços manuais em qualquer sentido de posição. Já na linha pesada e industrial, as aplicações para o mandril são mais definidas pelo tipo de máquina. O mandril de furadeira de bancada, por exemplo, tem o encaixe cônico do mandril, pois fura somente no sentido para baixo.

Com grande capacidade de força, mas com rotação limitada, o mandril para furadeira de bancada é classificado como adequado para serviços pesados (indústrias que trabalham o dia todo) ou serviços leves, como o uso profissional intervalado. Os

encaixes cônicos são identificados com letras e números, como B, J, 2, 18 e 24. No uso em tornos, geralmente em serviços que exigem maior precisão, os torneiros preferem o mandril de aperto rápido, que dispensa qualquer outro tipo de dispositivo para seu aperto.



**Figura 48 - Mandril de aperto rápido**  
Fonte: (Retirada da apostila de elementos de máquina ESSEL)

É importante observar que a identificação da capacidade da broca e tipo de encaixe do mandril fica geralmente gravada na parte externa do corpo da coroa dentada da ferramenta.

Existem dois tipos básicos de mandril para furadeira: O de aperto rápido e o com chave de aperto. A escolha deve ser feita a partir do seu uso principal da ferramenta.

A maior parte das furadeiras traz de fábrica um mandril com chave. Ele é recomendado para quem usa por bastante tempo a mesma broca e faz poucas trocas. Isso por oferecer bastante segurança, sendo firme, robusto e não permitindo giros em falso.

O mandril de aperto rápido, por sua vez, é manual: Basta rosqueá-lo para trocar a broca, sem necessidade de uma chave. A robustez não é a mesma, mas há um enorme ganho de velocidade.

Portanto, para quem troca de brocas com frequência e precisa de muita velocidade na execução de seu trabalho, o mandril de aperto rápido é o ideal.

### 3. Desenvolvimento

#### 3.1 Parâmetros de partida

A nossa furadeira de coluna é a ferramenta ideal para aplicações profissionais em madeiras, plásticos e metais. Pode ser utilizada em marcenarias, carpintarias, serralherias, oficinas, ferramentarias, entre outros. Prático e robusto, este equipamento apresenta capacidade de furação de até 16 mm em aço baixo carbono; com sistema de cremalheira de subida e descida do cabeçote. Equipamento com motor elétrico, cabo de ligação, sistema de segurança na chave liga/desliga, fixação do motor com esticador permitindo rápida troca das correias. Além disso, sua mesa móvel facilita a operação nos mais diversos trabalhos.

Tensão: 220V;

Opções de Velocidade: 3;

Curso do mandril: 60mm;

#### 3.2. Cálculo de torque de furação e potência

Para calcularmos o torque do motor, precisamos calcular o momento torsor, força de avanço e potência consumida. Seguem abaixo os cálculos:

Utilizando a equação de “Kronenberg”, temos que:

$$MT = C_1 \times D^{X_1} \times f^{Y_1}$$

FURAÇÃO EM CHEIO				FURAÇÃO COM PRÉ-FURO			
AÇO	C <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	AÇO	C <sub>3</sub>	X <sub>3</sub>	Y <sub>3</sub>
1085	296	2,05	0,86	1085	271	1,90	0,29
1020	148	2,22	0,76	1020	236	1,60	0,23
1065	238	2,05	0,83	1065	185	2,10	0,30

$$MT = 148 \times 162,22 \times 0,050,76$$

$$MT = 7.155,26 \text{ N.mm}$$

$$MT = 7,15 \text{ N.m}$$

Utilizando a equação de “H.Daar”, temos que:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot T$$

$$F = N/Hz$$

$$P = 2 \times 3,14 \times 15 \times 7,15$$

$$F = 700/60$$

$$P = 673,87w - 0,697KW$$

$$F = 15Hz$$

$$\therefore P = 0,916cv$$

### 3.3. Definição de motorização

De acordo com os cálculos apresentados acima, onde foi considerado todas as variáveis quanto a esforços e forças necessárias durante o trabalho da furadeira, chegamos na potência consumida mínima de 0,916cv para que todos os parâmetros de funcionamento fossem perfeitamente atingidos. Sabendo disso e que os motores elétricos são classificados de acordo com a tabela abaixo da “WEG”, definimos aplicar em nosso projeto o motor monofásico abertos IP21 1CV 2P.

#### Modelo Standard

Tensão de alimentação (V CA)		Inversor de frequência CFW08			Máximo motor aplicável (*)		
		Referência	Tamanho	Corrente nominal de saída (A)	Tensão de alimentação (V CA)	Potência	
						cv	kW
220	Monofásica	CFW080016S2024PSZ	1	1,6	220	0,25	0,18
		CFW080026S2024PSZ	1	2,6		0,5	0,37
		CFW080040S2024PSZ	1	4,0		1,0	0,75
	Monofásica ou Trifásica	CFW080016B2024PSZ	1	1,6		0,25	0,18
		CFW080026B2024PSZ	1	2,6		0,5	0,37
		CFW080040B2024PSZ	1	4,0		1,0	0,75
		CFW080073B2024PSZ *	2	7,3		2,0	1,5
		CFW080100B2024PSZ *	2	10,0		3,0	2,2
		CFW080070T2024PSZ	1	7,0		2,0	1,5
	Trifásica	CFW080160T2024PSZ *	2	16,0		5,0	3,7
		CFW080170T2024POH3Z*	2	17,0		5,0	3,7
		CFW080220T2024PSZ *	3	22,0		7,5	5,5
		CFW080280T2024PSZ *	4	28,0		10,0	7,5
		CFW080330T2024PSZ *	4	33,0		12,5	9,0
		CFW080010T3848PSZ	1	1,0		0,25	0,18
380 ou 480	Trifásica	CFW080016T3848PSZ	1	1,6	0,5	0,37	
		CFW080026T3848PSZ	1	2,6	1,0	0,75	
		CFW080040T3848PSZ	1	4,0	2,0	1,5	
		CFW080027T3848PSZ *	2	2,7	1,5	1,1	
		CFW080043T3848PSZ *	2	4,3	2,0	1,5	
		CFW080065T3848PSZ *	2	6,5	3,0	2,2	
		CFW080100T3848PSZ *	2	10,0	5,0	3,7	
		CFW080130T3848PSZ *	3	13,0	7,5	5,5	
		CFW080160T3848PSZ *	3	16,0	10,0	7,5	
		CFW080240T3848PSZ *	4	24,0	15,0	11,0	
		CFW080300T3848PSZ *	4	30,0	20,0	15,0	

Nota: (\*) Frenagem reostática incorporada.

**Tabela 14 - Classificação de motores**  
Fonte: (Catálogo WEG de motores standard)

O Motor Monofásico Abertos IP21 1HP 2P é indicado para aplicações em compressores, amaciadores, picadores e moedores de carne, cortadores de frios, cilindros, misturadores e extrusoras de massa, liquidificadores industriais, banheiras de hidromassagem, filtros de piscina, furadeiras, motobombas, máquinas operatrizes de pequeno porte, betoneiras, lavadoras e centrífugas de roupas, entre outras.

**Grau de Proteção:** O motor com grau de proteção IP21 oferece uma excelente opção para aplicações em ambientes isentos de poeira ou quaisquer outros resíduos sólidos.

**Formas Construtivas:** Com padrão B3D, conforme ABNT NBR/IEC 60034-7.

### **3.3.1 Especificações Técnicas**

- Potências: 1 HP - 0,75 Kw
- Polaridades: 2P - 3480 RPM
- Grau de proteção: IP21, conforme ABNT NBR IEC60034-5
- Frequência: 60Hz
- Tensões: 110-127 / 220-254 V
- Isolamento: 130°C (Classe "B")
- Carcaças normalizadas, conforme NEMA MG 1: 48, 56, 56H e 182/4T
- Norma ABNT NBR 17094-2

### **3.4. Projeto de transmissão**

Para o nosso projeto de transmissão utilizamos dois cones de polias de 3 (três) velocidades e uma correia em "V", para isso desenvolvemos os seguintes cálculos dimensionais:



### 3.4.1. Cálculo da Polia

Determinamos que a polia maior iria ter 250mm e a menor 50mm, sendo assim, segue o cálculo da polia intermediária:

$$(D1 + d3) = (D2 + d2) = (D3 + d1)$$

$$(50 + 250) = (150 + 150) = (250 + 50)$$

$$D1 = 50\text{mm} \quad d1 = 50\text{mm}$$

$$D2 = 150\text{mm} \quad d2 = 150\text{mm}$$

$$D3 = 250\text{mm} \quad d3 = 250\text{mm}$$

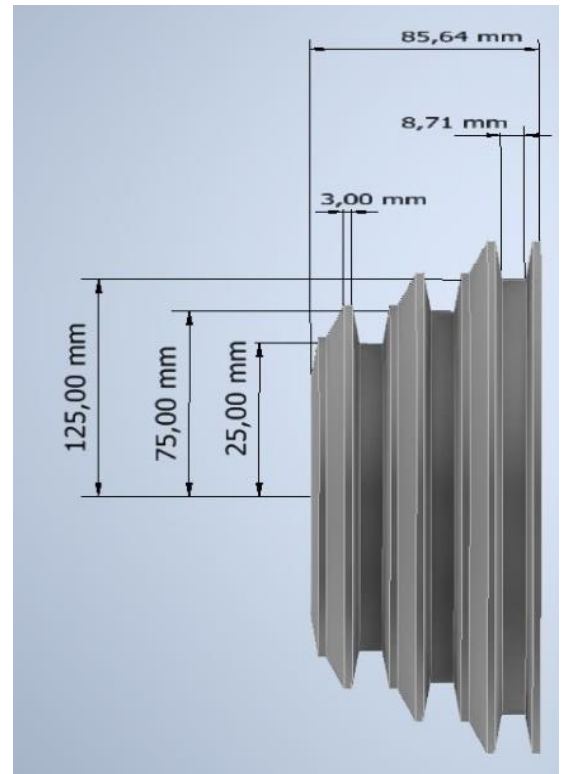


Figura 49 - Cone de polias

### 3.4.2 Cálculo da Correia

Seguindo o dimensional do nosso protótipo, consideramos o valor de “c” estimado de 400 mm:

$$L = 2c + \frac{\pi}{2} \times (D + d) + \frac{(D-d)^2}{4 \times c}$$

$$L = 2 \times 0,4 + \frac{\pi}{2} (0,25 + 0,05) + \frac{(0,25-0,05)^2}{4 \times 0,4}$$

$$L = 0,8 + \frac{\pi}{2} \times 0,3 + \frac{(0,2)^2}{1,6}$$

$$L = 0,8 + 0,471 + 0,025$$

$$L = 1.296 \text{ mm}$$

De acordo com cálculo acima apresentado, descobrimos o comprimento ideal da correia, com isso, analisamos a tabela standard de comprimento de correias e definimos a mais próxima do comprimento calculado.

PERFIL A		
Ref.	CIRCUNF. PITCH	
	Poi.	mm
A-26	27.3	695
31	32.3	820
33	34.3	870
35	36.3	920
38	39.3	1000
41	42.3	1075
42	43.3	1100
46	47.3	1200
50	51.3	1305
51	52.3	1330

Ou seja, para o nosso projeto, definimos a correia A-50 de **1305 mm**.

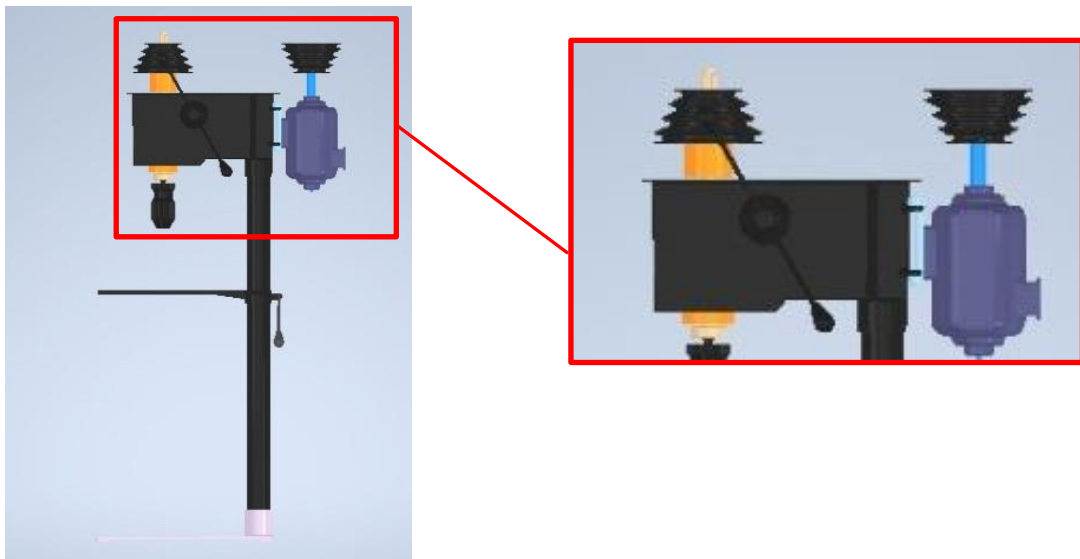


Figura 50 - Disposição dos dois cones de polias no sistema de transmissão

### 3.5. Projeto do eixo e caixa

Para desenvolvermos o projeto do eixo e da caixa de transmissão, desenvolvemos os seguintes cálculos:

$$K = 4 \times L - 2 \times \pi \times (D + d)$$

$$K = 4 \times (1,305) - 2 \times (3,14) \times (0,25 + 0,05)$$

$$K = 5,22 - 6,28 \times 0,3$$

$$K = 5,22 - 1,884$$

$$K = 3,336$$

Após definição do comprimento da correia de acordo a tabela standard, desenvolvemos o cálculo da distância real entre centros:

$$C_{real} = K + \sqrt{\frac{K^2 - 32 \times (D - d)^2}{16}}$$

$$C_{real} = 3,34 + \sqrt{\frac{3,34^2 - 32 * (0,250 - 0,05)^2}{16}}$$

**C<sub>real</sub> = 405 mm – Comprimento real entre centros**

Para definirmos as forças atuantes nas polias e correias, temos que calcular os ângulos de abraçamento, tanto para a polia motora e a movida.

$$\Theta_{1,2} = \pi \pm 2 \times \text{sen}^{-1} \frac{D-d}{2 \times C}$$

$$\Theta_{1,2} = \pi \pm 2 \times \text{Sen}^{-1} \frac{0,25 - 0,05}{2 \times 0,4051}$$

$$\Theta_1 = \pi + 2 \times \text{Sen}^{-1} (0,2468)$$

$$\Theta_1 = 151,44^\circ \therefore 2,264 \text{Rad} -$$

$$\Theta_2 = \pi - 2 \times \text{Sen}^{-1} \times 0,2468$$

$$\Theta_2 = 208,56^\circ \therefore 3,640 \text{Rad}$$

$$F_1 - F_2 = \frac{P \times K}{r \times n} = \frac{1 \times 7026}{0,125 \times 700} = F_1 - F_2 = 80,3N$$

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{k_2}$$

$$K_2 = \frac{\mu \times \theta_1}{\frac{\text{sen}\phi}{2}} = \frac{0,3 \times 2,264}{\text{sen}21} = 2,2125$$

$$\frac{F_1}{F_2} = e^{2,2125}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = 9,14$$

$$F_1 - F_2 = 80,3N$$

$$\therefore 9,14F_2 = 80,3 + F_2$$

$$8,14F_2 = 80,3$$

**F<sub>2</sub> = 9,86N – Força do lado frouxo da correia**

$$F_1 - F_2 = 80,3$$

$$F_1 - 9,86 = 80,3$$

$$F_1 = 80,3 + 9,86$$

**F<sub>1</sub> = 90,16N – Força do lado tenso da correia**

Após realizarmos os cálculos da caixa de transmissão, determinamos o diâmetro do eixo, conforme os cálculos apresentados abaixo:

$$M = (F_1 + F_2) \times L$$

$$M = (90,19 + 9,86) \times 0,15$$

$$M = 100,02N$$

$$C = \left( \frac{2}{\pi \times T_{adm}} \sqrt{M^2 + T^2} \right)^{1/3}$$

$$C = \left( \frac{2}{157000000} \sqrt{100,02^2 + 41,17^2} \right)^{1/3}$$

$$C = (0,000000012738 \times 108,16)^{1/3}$$

$$C = 0,011m \therefore \varnothing \text{ eixo} = 22mm$$

Nos cálculos do momento resultante “M”, não foram considerados as possíveis forças angulares, devido à um fator de segurança.

### 3.6. Projeto da coluna

Para definirmos a “coluna” do nosso projeto, utilizamos um tubo schedule 40 com diâmetro de 80 mm e comprimento que atendesse a nossa necessidade.



Figura 51 – Vista frontal da coluna

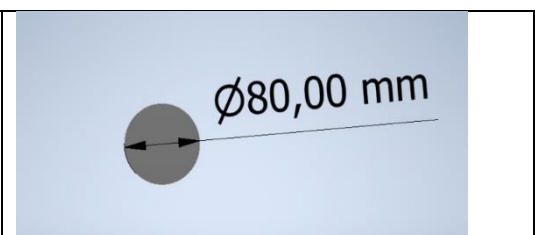
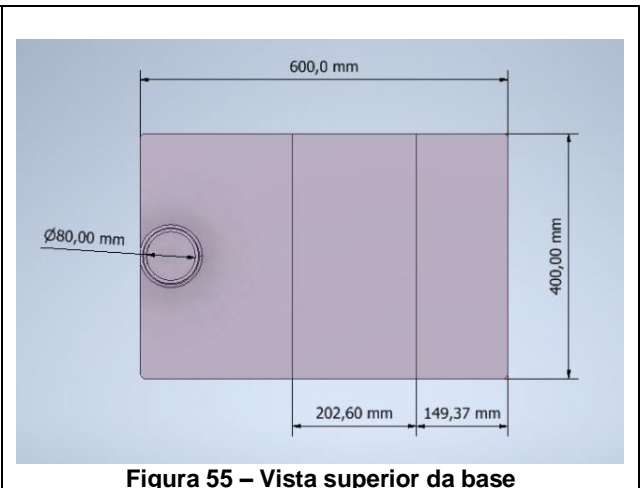
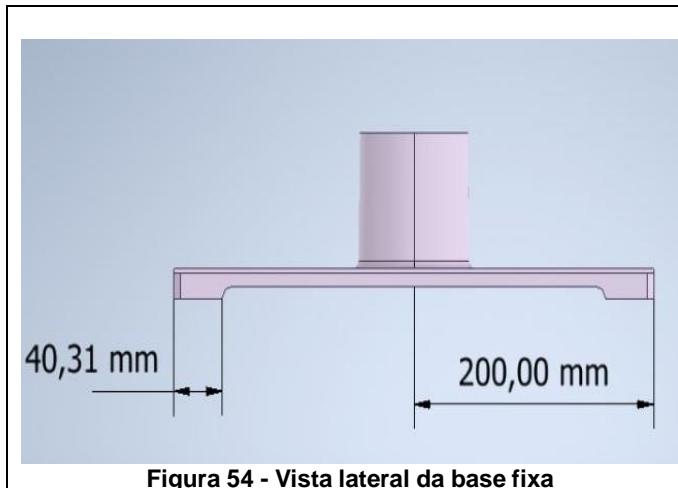
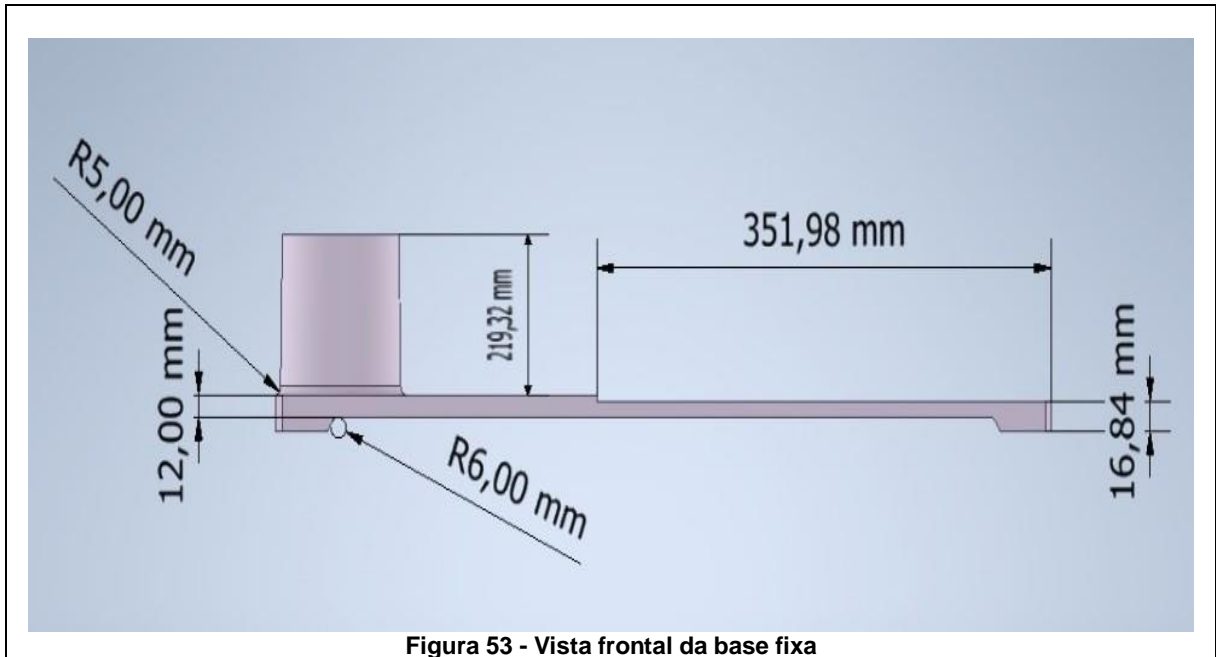


Figura 52 – Vista lateral esquerda da coluna

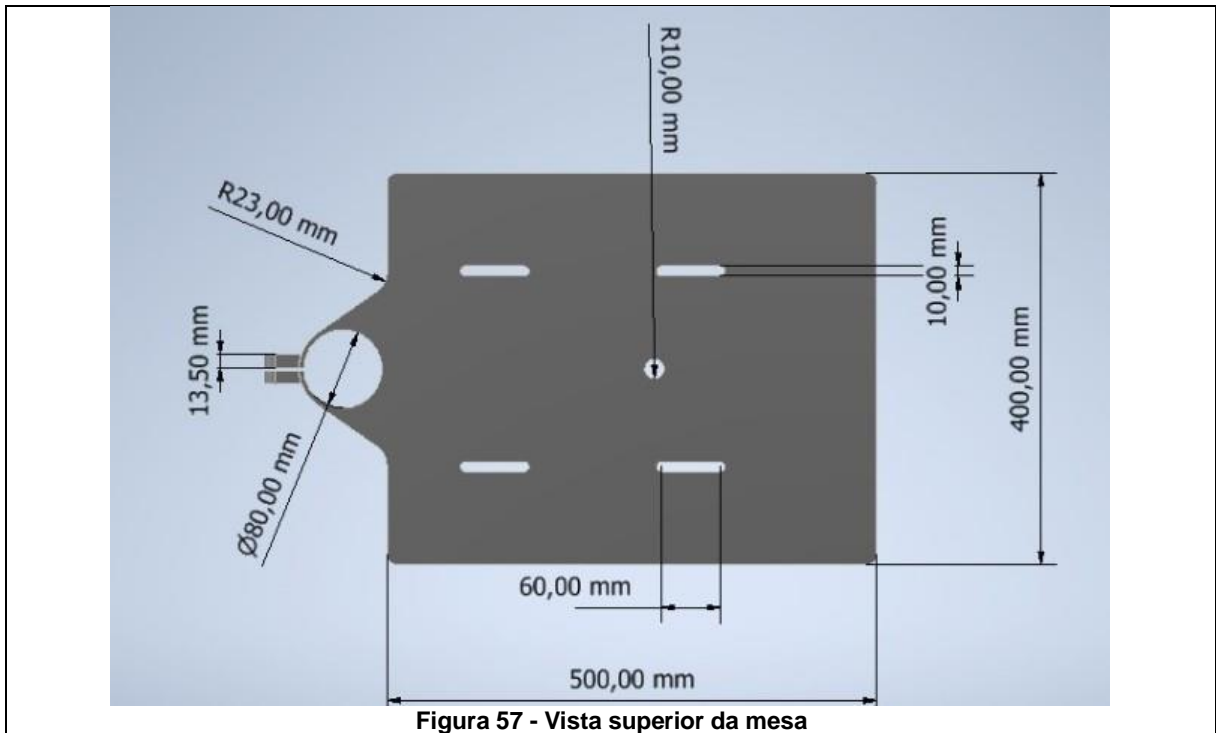
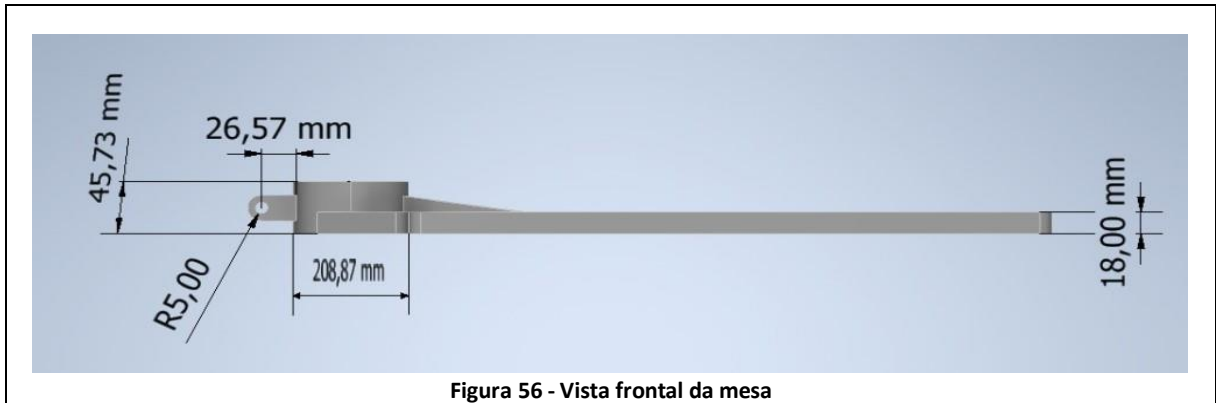
### 3.7. Projeto da mesa e base

A nossa mesa e a base foram projetadas em ferro fundido cinzento, para suportar os esforços necessários e sua própria estrutura.

#### 3.7.1. Projeto da base



### 3.7.2. Projeto da mesa



## 3.8. Projeto do eixo

O eixo foi projetado a fim de atender as necessidades de trabalho da nossa furadeira, assim como os itens que o suportam.

### 3.8.1. Projeto da manga do eixo

A manga do eixo é acoplada no eixo para dar o movimento de rotação para o mandril, segue o desenho do projeto:

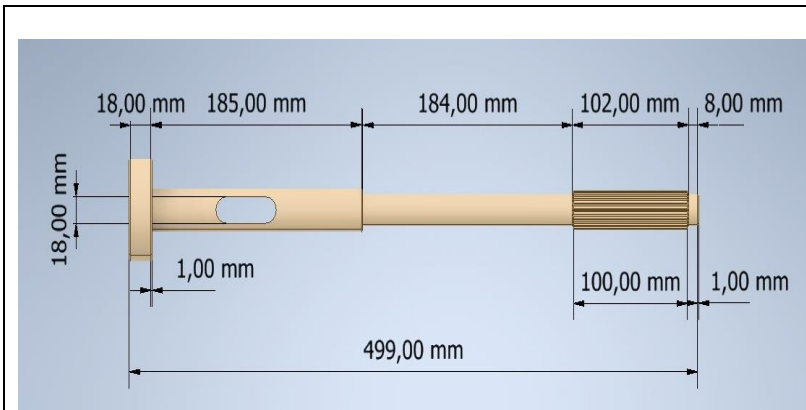


Figura 58 - Vista frontal do eixo árvore

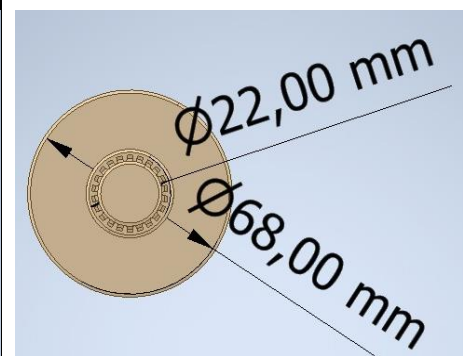


Figura 59 - Vista lateral esquerda do eixo árvore

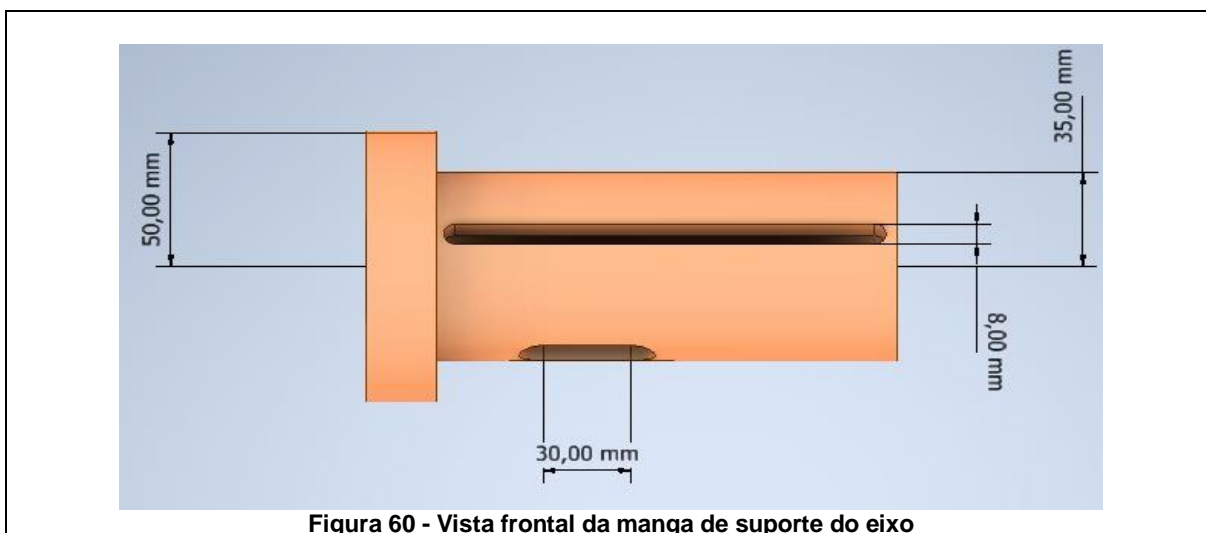


Figura 60 - Vista frontal da manga de suporte do eixo

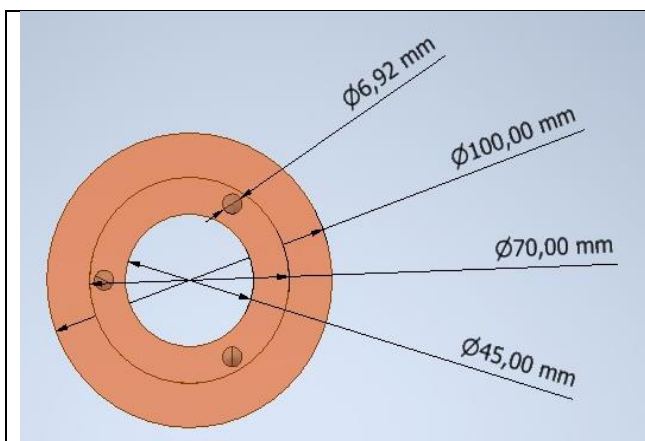


Figura 61 - Vista lateral esquerda da manga do eixo

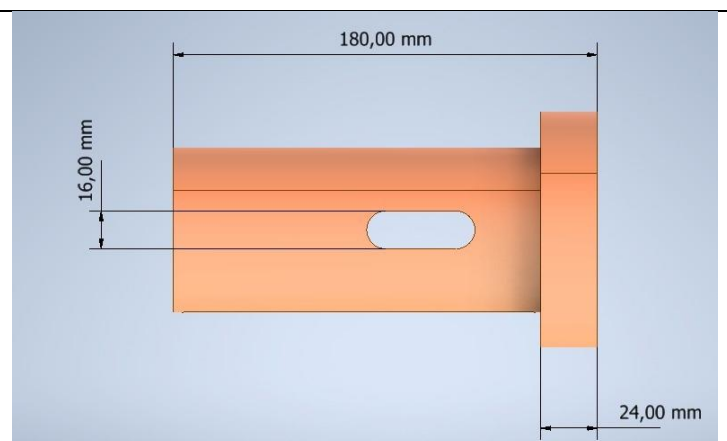


Figura 62 - Vista superior da manga do eixo

### 3.9. Projeto do mandril

Para realizarmos o movimento de furação, precisamos de alguns elementos essenciais, segue abaixo o desenho de projeto desses elementos.

#### 3.9.1. Transmissor de movimentos entre a alavanca e o eixo

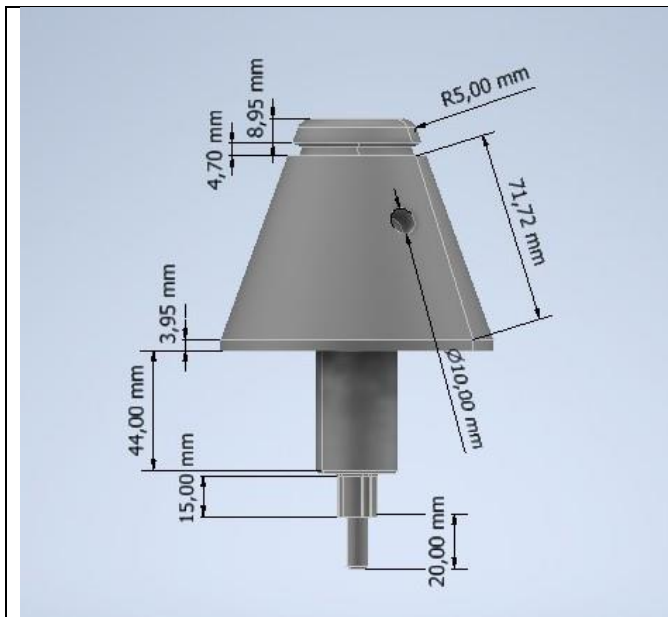


Figura 63 - Vista frontal do transmissor de movimentos entre a alavanca e o eixo árvore

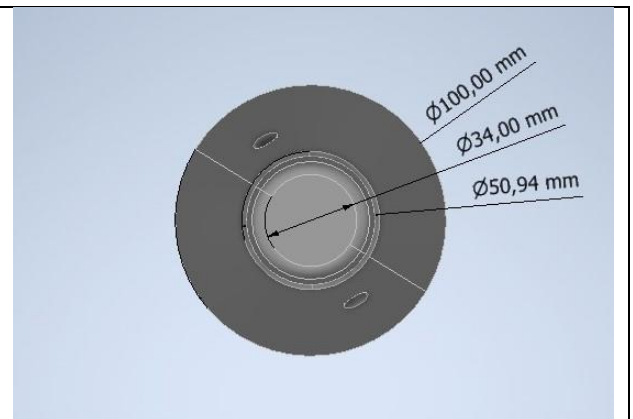


Figura 64 - Vista superior do transmissor de movimentos entre a alavanca e o eixo árvore

O mandril que utilizaremos será o mandril de 5/8 – 16 mm, pois o mesmo atende as necessidades de uma furadeira utilizada para oficinas de pequeno porte.

#### 3.9.2. Alavanca

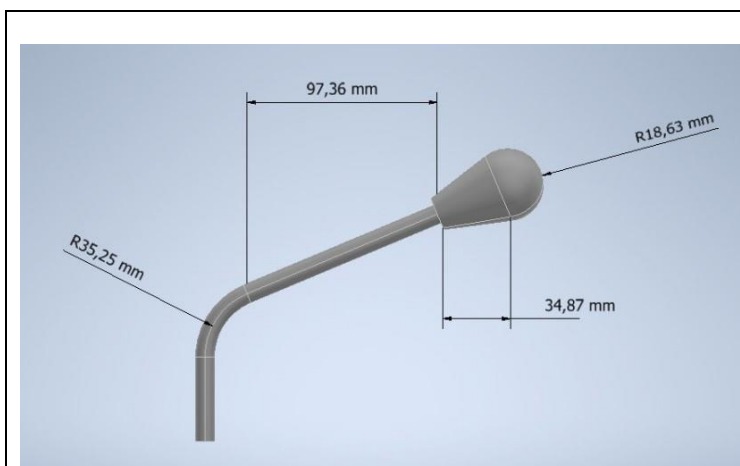


Figura 65 - Vista frontal da alavanca

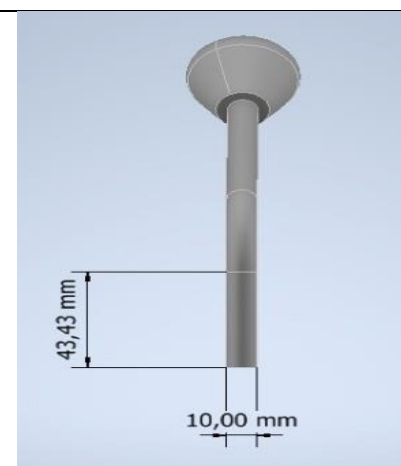


Figura 66 - Lateral esquerda da alavanca



### 3.10. Projeto elétrico

Desenvolvemos um projeto elétrico simples, pois o nosso equipamento não necessita de um diagrama elétrico complexo. Segue abaixo a descrição da funcionalidade do projeto.

O contato K1 (NA) serve como retenção após a botoeira b1 ser pressionada e solta. Ele também é um contato de segurança porque, em caso de uma rápida falta de energia, o contator desliga, o contato K1 abre e após a volta da energia será necessário iniciar todo o procedimento de ligação do motor novamente através de b1;

Observe a atuação do relé térmico. Suponha que ele atuou por sobrecarga. Então o contato F7 mostrado no diagrama de comando abre e é cortada a alimentação da bobina K1. Isso faz com que K1 abra e o sistema todo é desligado, observe que mesmo que a sobrecarga desapareça logo após a atuação do relé térmico o motor somente poderá ser religado através da botoeira b1, exatamente como determinam as normas de segurança.

Para efetuar o desligamento manual do motor utiliza-se a botoeira b0 com o seu contato NF.

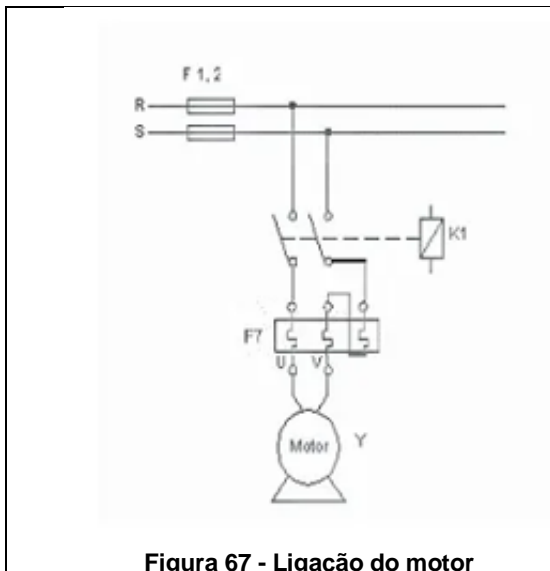


Figura 67 - Ligação do motor

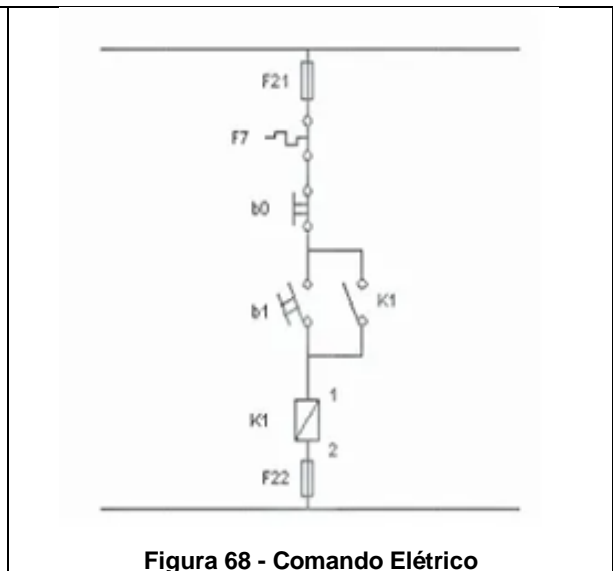


Figura 68 - Comando Elétrico

### 3.11. Protótipo

Havíamos realizado a construção de uma furadeira de pequeno porte para a matéria de elementos de máquinas, entretanto esse projeto precisava de algumas melhorias a serem desenvolvidas, tal como a potência do motor, pois a princípio havíamos determinado um motor 1/4cv, e o mesmo não estava sendo capaz de desempenhar a operação de furação adequadamente, com isso observamos a necessidade de realizar o cálculo da potência consumida do motor, conforme Item 3.2.

Além disso, no protótipo utilizamos duas polias (movida + motora) de tamanho único, onde não existia a possibilidade de alterar a rotação de trabalho. Diante dessa situação, desenvolvemos os cálculos de velocidade para duas polias de 3 tamanhos, que permite trabalhar em uma gama maior de velocidades, conforme item 3.4.

Outra melhoria observada, foi com relação ao range de furação, onde aumentamos o tamanho do mandril, para suportar diâmetros maiores de brocas. A fim de aplicarmos essa melhoria, redimensionamos o tamanho do eixo, para que o mesmo suportasse o torque operacional, conforme descrito no item 3.5.

Conforme figuras 69 e 70, referente ao nosso protótipo:



Figura 69 - Protótipo montado



Figura 70 - Sistema de transmissão do Protótipo

### 3.12. Custo de fabricação e preço de mercado

Iniciamos o projeto com todas as diretrizes bem definidas, tal como gastos que estamos dispostos a assumir. Na introdução apresentamos um target (alvo) de

R\$875,00 (oitocentos e setenta e cinco reais), esse valor foi definido através do seguinte cálculo conforme Tabela 14:

Descrição	Preço Unitário	Quantidade	Preço
Motor	R\$400,00	1	R\$400,00
Polias	R\$60,00	2	R\$120,00
Correia	R\$50,00	1	R\$50,00
Ferro, Aço	R\$120,00	1	R\$120,00
Mão de Obra	R\$100,00	1	R\$100,00
Insumos	R\$85,00	1	R\$85,00
<b>TOTAL</b>			<b>R\$875,00</b>

Tabela 14: Custos de fabricação

Como em todo projeto, tivemos algumas discrepâncias em relação ao valor final. Porém não fugiu da nossa margem de segurança de 10% (R\$910,00).

Em uma pesquisa realizada em alguns sites online de venda de equipamentos mecânicos, observamos que uma furadeira semelhante a que desenvolvemos, está sendo vendida a uma média de R\$2.600,00 (Dois mil e seiscentos reais).

Segue abaixo alguns equipamentos retirados do site “loja do mecânico”:

Furadeira de Bancada e Coluna 3/4 Pol. 1.0 HP 220V - MOTOMIL-RDM-2801F  
COD. 1746460 [MOTOMIL](#)



★★★★★ (1 avaliações, Participe!)

De: R\$ 3.077,67 por

R\$ **2.599<sup>90</sup>**

📄 No boleto bancário (já com 10% de desconto)  
💳 1x de **2.599,90** no cartão de crédito (já com 10% de desconto) OU em até 12x de **R\$ 240,73**

mais formas de pagamento >

1


 Ganhe **375 G-points** [saiba mais](#)

Figura 71 - Exemplo de furadeira similar no mercado

Furadeira de Coluna FCV 016 5/8 Pol. 3/4CV - VONDER-6001016220  
COD. 1508199 **VONDER**



☆☆☆☆☆ (Seja o primeiro, avalie este produto!) 

Tensão:  220 Volts

R\$ 2.399<sup>92</sup>

:( Que pena! Produto sem estoque

**Avise-me Quando Chegar**

Nós iremos lhe notificar quando o produto estiver disponível.

Nome

E-mail

**Enviar**

Desejo receber ofertas exclusivas da LojaDoMecanico.com.br

**Temos outro produto você pode gostar :)**



Furadeira de Base Magnética  
Welder 1200W.com

**Figura 72 - Exemplo de furadeira similar no mercado**

## 4. RESULTADOS

Pelo custo de fabricação que atingimos durante a montagem do nosso equipamento, conseguimos chegar no objetivo que esperávamos inicialmente, que era manter um valor abaixo do mercado quando comparado a máquinas do mesmo porte.

Considerando os conceitos de “markup” aprendido em sala de aula, definimos que um lucro de pelo menos 50% seria o ideal para a venda do nosso equipamento, portanto nossa furadeira irá ter um preço de venda de R\$1.320,00.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A montagem desse equipamento agregou muito para nós, pois durante a construção do projeto passamos por diversas fases, onde colocamos em prática o conhecimento técnico e adquirido durante a extensão do curso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FILHO, F. de M., Elementos de transmissão flexíveis, 2009

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Blucher, 1977.

FAIRES, V. M., Elementos orgânicos de máquinas, vol. I e II, 2ª edição, LTC Editora, S.A., Rio de Janeiro, RJ, 1971.

PIRES de ALBUQUERQUE, O.L.A., Elementos de máquinas, Editora Guanabara Dois S.A., 1ª edição, Rio de Janeiro, 1980.

<https://www.gov.br/trabalho/pt-br/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/norma-regulamentadora-no-12-nr-12>

<https://essel.com.br/cursos/material/01/ElementosMaquinas/13elem.pdf>

<https://www.sweetesthome.com.br/mandril-para-furadeira/>

<https://www.casadomecanico.com.br/mandril->

[shttps://www.transmitechreduutores.com.br/tabela-de-especificacao-cfw08-](https://www.transmitechreduutores.com.br/tabela-de-especificacao-cfw08-)

<https://www.villefer.com.br/produto/tubo-mecanico/tubos-mecanico-aco-carbono-aco-inox/>