

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO ALEXANDRE DE O. MARAFON

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO LOCALIZADOR DE
ARESTAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

JOÃO ALEXANDRE DE O. MARAFON

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO LOCALIZADOR
DE ARESTAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, *Câmpus* Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. M. Cícero Gallina de Aguiar

Pato Branco

2014

Dedico à minha família que sempre me apoiou e sempre me deu forças durante a realização deste trabalho e ao longo de todo o curso de Engenharia Mecânica.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar saúde para que fosse possível a minha passagem por todas as fases boas e ruins que encontrei durante esta etapa da minha vida e também força para que eu fosse capaz de continuar sempre batalhando em busca de novas conquistas.

Em especial meus agradecimentos à minha família que sempre me apoiou dando amor, carinho e atenção em todos os momentos.

Agradeço meu orientador Prof. M. Cícero Gallina de Aguiar por me ajudar no desenvolvimento e construção deste trabalho sempre me indicando o melhor caminho com atenção e paciência, critérios que o transformam neste grande profissional que hoje privilegiamos em ter à disposição na universidade.

Meus sinceros agradecimentos aos professores Dr. Sérgio Luiz Ribas Pesa e M. Eng. Joviano Janjar Casarin por fornecer dicas durante a realização das atividades e também ao meu amigo e estagiário de laboratório Alessandro Passa que me ajudou na realização do tratamento térmico e a todos àqueles que de alguma forma tornaram este caminho mais fácil de ser percorrido.

RESUMO

Este trabalho apresenta conceitos e informações sobre a construção de um dispositivo localizador de referências de fabricação para fresa universal. Primeiramente é feita uma análise dos dispositivos encontrados no mercado para o embasamento e desenvolvimento de um croqui e assim iniciar o dimensionamento encontrando as formas e dimensões mais adequadas para o projeto, e também definir as características da mola helicoidal de tração. Na sequência é feita a seleção de um material que resiste as solicitações de desgaste no caso um aço médio carbono SAE 1045 endurecido por tratamento térmico. Por fim a construção propriamente dita e o teste do dispositivo onde processos de fabricação estarão presentes aperfeiçoando o conhecimento transmitido ao longo da graduação.

Palavras-chave: Localizador de Arestas. Referências de Fabricação. Ferramentas de Precisão.

ABSTRACT

This paper presents concepts and information about building a locator device manufacturing references for milling machine. First an analysis is made about the devices found in the market for the foundation and development of a sketch and start the sizing finding the most appropriate forms and dimensions for the project, and also to define the characteristics of the helical tension spring. Following a selection is made of a material that resists the demands of wear in case an average carbon steel SAE 1045 hardened by heat treatment. Finally the construction and testing of the device where manufacturing processes are present perfecting the knowledge transmitted over graduation.

Keywords: Edge Finder, Manufacturing References, Precision Tools.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Peça para exemplo	9
Figura 2 – Estrutura do trabalho.....	11
Figura 3 – Forma de utilização localizador	13
Figura 4 – Referencia de projeto	14
Figura 5 – Exemplos de referência de fabricação	15
Figura 6 – Tolerância de concentricidade	16
Figura 7 - Tolerância de paralelismo	17
Figura 8 - Tolerância de perpendicularidade.....	17
Figura 9 – Ilustração de uma fresadora vertical	18
Figura 10 – Representação gráfica da intensidade do atrito	19
Figura 11 – Referencial inercial.....	21
Figura 12 - Referencial não inercial.....	22
Figura 13 – Coeficientes de atrito para algumas combinações de materiais.	26
Figura 14 – O contato real entre as superfícies esta somente nas pontas das asperezas.....	27
Figura 15 – Seqüência da metodologia empregada.....	34
Figura 16 – Localizador de arestas MATCHLING®	36
Figura 17 – Localizador de arestas STARRETT®.....	36
Figura 18 – Esboço do localizador de arestas construído por STEVE (2013).....	37
Figura 19– Soluções possíveis.....	38
Figura 20 – Curva de Temperabilidade para aço não ligado.....	41
Figura 21- Forças consideradas no dimensionamento.....	41
Figura 22 – Excentricidade.....	42
Figura 23 - Regiões de desgaste	45
Figura 24 – Curva do revenido para o aço SAE 1045.....	46
Figura 25 – Dispositivo Localizador de Arestas.....	47
Figura 26 – Ponta do dispositivo	47
Figura 27 – Esboço do corpo de prova perfurado	50
Figura 28 – Analogia do tiro ao alvo	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 OBJETIVOS	8
1.1.1 Objetivo Geral	8
1.1.2 Objetivos Específicos	9
1.2 JUSTIFICATIVAS.....	9
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 DISPOSITIVO LOCALIZADOR DE ARESTAS.....	12
2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS REFERÊNCIAS.....	13
2.2.1 Referências de Projeto	14
2.2.2 Referência de Fabricação	15
2.3 TOLERÂNCIAS	15
2.3.1 Tolerância de Concentricidade	16
2.3.2 Tolerância de Paralelismo	16
2.3.3 Tolerância de Perpendicularidade	17
2.4 FRESADORAS VERTICAIS	18
2.5 FORÇAS DE ATRITO.....	19
2.6 FORÇA CENTRÍPETA E CENTRÍFUGA.....	20
2.7 MATERIAIS METÁLICOS.....	23
2.8 TÊMPERA E REVENIDO	24
2.9 SUPERFÍCIES EM CONTATO E DESGASTE POR ABRASÃO	25
2.10 USINABILIDADE	28
2.11 MOLAS	30
2.12 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO.....	31
2.12.1 Usinagem	31
2.12.2 Polimento	32
2.12.3 Lapidação	33
3. METODOLOGIA	34
3.1 IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE	35
3.2 PESQUISA DE SUPORTE.....	35
3.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS.....	37
3.4 ESPECIFICAÇÃO DE TAREFAS.....	38
3.5 SÍNTESE, ANÁLISE E SELEÇÃO.....	38
3.6 PROJETO DETALHADO	39
3.6.1 Determinação do Material	39

3.6.2	Equacionamento e Dimensões Gerais	41
3.6.3	Determinação da Mola	43
3.6.4	Definição dos processos de fabricação	44
3.7	PROTÓTIPO E TESTE	47
3.7.1	Protótipo	47
3.7.2	Teste	49
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES	56
	ANEXOS	57

1. INTRODUÇÃO

Hoje em dia um fator muito considerado na indústria mecânica é a qualidade dos produtos, conseqüência da grande exigência dos consumidores, das especificações, dos custos entre outros. Para a indústria manufatureira este fator deve ser tratado de forma um pouco mais além da forma vista por quem apenas consome o produto, é necessário levar em conta os processos de fabricação visando sempre uma boa relação entre qualidade e custo. Sendo assim a qualidade pode ser expressa através de parâmetros geométricos como dimensão, forma, acabamento da superfície e parâmetros físicos que podem ser condutividade elétrica, térmica e magnética, entre outras. Também parâmetros químicos (resistência à corrosão, etc.) e parâmetros mecânicos como dureza, resistência à fadiga, e outros devem ser considerados. Quanto mais adequados forem esses parâmetros maior será a qualidade e a confiabilidade do produto (FERREIRA, 2012).

Contudo a idéia apresentada neste trabalho se refere à construção de um dispositivo com intuito de auxiliar o posicionamento do eixo de giro da máquina-ferramenta, de forma a deixar este eixo alinhado com a aresta de referência e, a partir deste ponto localizar uma posição específica ao longo da peça. A utilização deste produto será mais especificamente para fresas verticais e furadeiras tipo fresa que utilizam pinças, e tem como objetivo melhorar os parâmetros de posicionamento dos detalhes inseridos em peças diversas.

O dispositivo proposto permite localizar arestas planas retas, para que a partir destas, se possam encontrar posições corretas ao longo da peça, garantindo o posicionamento correto de furos, rasgos ou de qualquer outra característica.

Este localizador de arestas depois de construído será testado nos laboratórios da própria universidade e este, após o término do trabalho, ficará disponível junto com outros equipamentos e ferramentas utilizados no laboratório.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Construir um dispositivo localizador de arestas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- (I) Projetar o dispositivo localizador de arestas.
- (II) Construir o dispositivo localizador de arestas.
- (III) Testar o dispositivo localizador de arestas.

1.2 JUSTIFICATIVAS

O impasse existente atualmente no laboratório do *campus* é quando se quer fabricar detalhes de peças como furos e rasgos de chaveira, em máquinas convencionais de usinagem. A fabricação é possível, contudo é difícil garantir a repetição e a precisão de posicionamento destes detalhes ao longo da peça devido a dificuldades no referenciamento em relação a referencia de fabricação. O que se utiliza são algumas técnicas como a marcação da peça, que ajudam a obter resultados satisfatórios, mas que não garantem repetibilidade nem precisão.

O dispositivo em estudo será construído com intuito de resolver o problema descrito acima, suprimindo mais especificamente alguns problemas existentes na fresa vertical e também em furadeiras que admitem a utilização de pinças, tentando trazer mais precisão no alinhamento da referência de fabricação de uma determinada peça com o eixo central da ferramenta. Também para se obter conhecimentos sobre o dispositivo e futuramente se necessário ser reestudado ter material para embasamento.

Para melhor compreender do que se trata a Figura 1 a seguir que tenta demonstrar de forma mais clara a necessidade do equipamento em estudo.

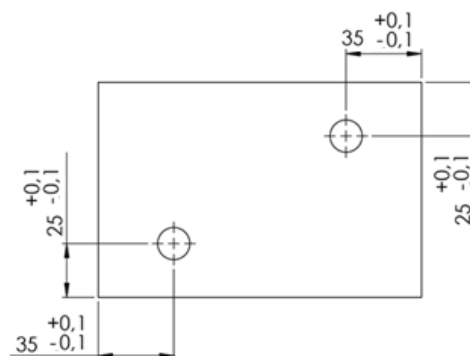


Figura 1 – Peça para exemplo

Fonte: Autor, 2014.

Supõe que fosse necessário construir uma chapa retangular com 2 furos ao longo da sua face como a exemplificada na Figura 1. As dimensões da chapa são exatos 100 x 150 mm e já estão cortadas dentro dos limites de tolerância. Contudo os furos precisam ser feitos respeitando as dimensões e tolerâncias requeridas na imagem.

Uma forma de construção desses furos na usinagem convencional seria através da marcação da chapa, que poderia ser feita traçando uma reta perpendicular ao eixo x respeitando a distância de 35 milímetros do vértice de referência e outra reta traçada perpendicularmente ao eixo y a 25 milímetros do vértice de referência. O furo então deve ser feito na posição em que as retas se cruzam. Depois de fixada a peça na mesa da máquina, deve-se centrar o ponto de cruzamento das retas com o eixo da ferramenta, movendo a mesa em cima de seus eixos de movimentação.

A técnica seria válida se a precisão do posicionamento do furo for grosseira, pois quando a ferramenta é posicionada no local marcado de forma visual, não existem garantias de que o eixo de referência da ferramenta esta exatamente alinhada com o ponto de cruzamento das retas. Se a furação for feita desta forma existem grandes chances de ocorrer falhas, as quais podem causar a perda da peça.

Como citado anteriormente o dispositivo que será estudado servirá para localizar a referência de fabricação de uma forma mecânica e não visual. Com este método pretende-se que seja possível posicionar com precisão e rapidez o eixo da ferramenta com a referência de fabricação, para que posteriormente sejam localizados outros pontos onde será praticada a construção de novos detalhes geométricos. O nível de precisão desse dispositivo pode chegar em até 0,005 milímetros segundo fabricantes como a MATCHLING®.

A fixação da peça na mesa ocorre de forma normal, e para melhor funcionamento e maior garantia é sempre interessante posicionar bem a peça, deixando-a mais plana possível e paralela com a mesa, caso contrário, podem ocorrer erros na localização do ponto onde será realizada a operação de construção da geometria, e conseqüentemente não sendo possível enquadrar a tolerância requerida. O posicionamento correto pode ser feito prendendo a peça na máquina e com o relógio comparador preso em local fixo, movimentar a mesa de um lado para

o outro e verificar a falta de paralelismo, fazendo pequenos ajustes é possível se obter o posicionamento adequado ou o melhor possível.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para facilitar o entendimento a organização deste trabalho foi dividida em 4 etapas:

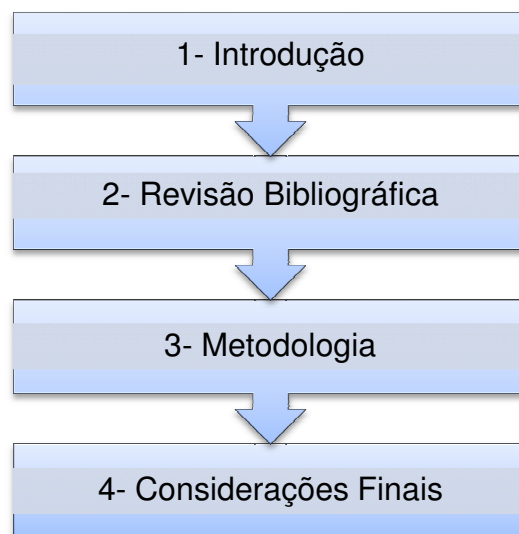


Figura 2 – Estrutura do trabalho
Fonte: Autor, 2014.

A introdução é o primeiro tópico que aparece sendo que nela existe uma breve explanação do trabalho. Na revisão bibliográfica é criado um memorial onde estão reunidas informações utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

No item metodologia é onde começa o desenvolvimento do trabalho o qual apresenta as etapas do projeto. Por fim as considerações finais ponto em que é debatido os resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DISPOSITIVO LOCALIZADOR DE ARESTAS

Para localizar com precisão um furo quando uma dimensão é dada a partir da borda da peça, primeiro deve-se ter uma maneira de alinhar o centro do seu eixo com uma aresta ou borda da peça. Há várias empresas que fabricam instrumentos "localizadores de aresta" que são usados em um porta fresa ou pinça para ajudar a localizar uma borda com precisão a Starrett é uma delas é a que mais traz informações técnicas para tomar como base neste referencial teórico.

O localizador é instalado em uma pinça na fresa. Em seguida a mesa de trabalho é então movimentada em cima de seus graus de liberdade com intuito de colocar a ponta do localizador de aresta próximo da referência a ser localizada. Então a máquina é ligada, o conjunto todo deve girar concentricamente. Em seguida a mesa é movimentada até que a aresta da peça toque a ponta do localizador.

Ao tocar a peça, a ponta do localizador perde a concentricidade e começa a vibrar, comprovando que este realmente encostou-se à aresta. Fazendo leves ajustes a ponta do localizador entrará em equilíbrio girando concentricamente por um curto instante de tempo e em seguida excentricamente, porém ainda em equilíbrio com o restante da estrutura do dispositivo. Então trava-se a mesa nessa posição, em sequência ocorre a remoção do dispositivo e instalação da ferramenta, após ter desligado o eixo arvore da fresa.

Soltando a mesa com cuidado se ajusta a dimensão B mostrada da Figura 3 que nada mais é que o raio da ponta do localizador, dimensão que é muito bem conhecida. Contudo tem-se que o eixo central da máquina esta perfeitamente alinhada com a aresta de referência (STARRETT, 2014).

Feito isso basta montar a ferramenta na máquina e ajustar a dimensão A, que neste caso determina a posição do furo. A partir disto várias furações podem ser construídas, sem ter que mudar o local da borda novamente, enquanto manter o controle das rotações dos volantes de acionamento da mesa da fresa ou furadeira (MACHINIST'S TIPS, 2002).

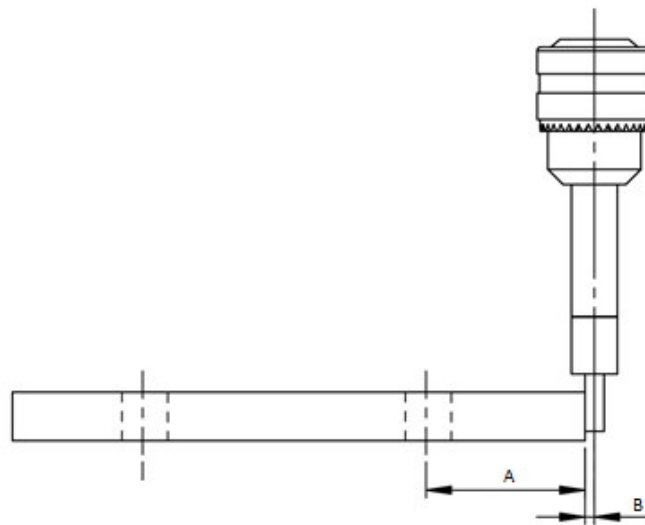


Figura 3 – Forma de utilização localizador

Fonte: Autor, 2014.

Tal procedimento de posicionamento do localizador na referência foi citado exemplificando apenas um eixo, mas poderia ser feito relacionando os dois eixos que é o caso da peça de exemplo. Para isto, bastava posicionar o primeiro travá-lo na posição, e em seguida posicionar o segundo.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS REFERÊNCIAS

Em um projeto mecânico, usinagem, inspeção e certas medições de uma peça são necessárias. Geralmente as medições referem-se à posição de um ponto, linha ou superfície sendo então, referenciados a partir de outros pontos, linhas e superfícies. Surge então a necessidade do estudo das referências.

Na usinagem, a tolerância da superfície a ser fabricada em uma peça não necessariamente depende das outras proporções da peça, mas sim dos fatores que influenciam diretamente no processo de usinagem.

Contudo quando falamos em precisão de posicionamento dessas superfícies, certamente podemos relacionar diretamente com outras partes da peça, sendo estes referenciais muito importantes, e que afetam fortemente a precisão da posição relativa entre duas superfícies numa peça (FERREIRA, 2012).

Para Ferreira (2012), as referências podem ser classificadas segundo as seguintes categorias:

- Referências de projeto
- Referências de fabricação
- Referências de apoio
- Referências de medição
- Referências de montagem

Como embasamento para o trabalho, os tópicos que mais interessam são os que citam referência de fabricação e ainda num segundo plano as referências de projeto que estão diretamente ligadas ao princípio de funcionamento do dispositivo. Entretanto, serão estudados apenas estes dois em seguida.

2.2.1 Referências de Projeto

Segundo Ferreira (2012), uma referência de projeto pode ser um ponto, uma linha ou uma superfície no desenho de uma peça, a partir da qual cota-se a posição de outro ponto, linha ou superfície. As dimensões no desenho da peça são denominadas cotas de projeto.

A figura 7 ilustra uma referência de projeto.

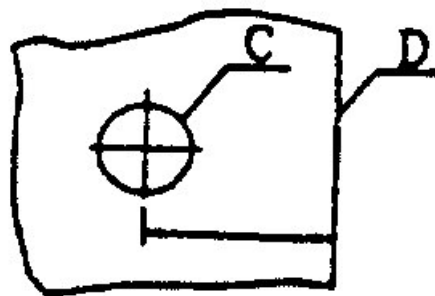


Figura 4 – Referência de projeto
Fonte: Adaptado de Ferreira, 2012.

Na Figura 4 acima temos que a referência de projeto do furo C é a superfície D e a cota de projeto é a cota especificada no desenho entre o furo e a superfície D.

2.2.2 Referência de Fabricação

Para Ferreira (2012), uma referência de fabricação é um elemento geométrico (ponto, linha ou superfície) do qual a posição da superfície a ser usinada é dimensionada.

A referência de fabricação normalmente é feita num desenho da peça no plano de operações que nada mais é que o detalhamento de cada operação, e serve para direcionar o operador para executar corretamente a operação. Neste, a dimensão entre a referência de fabricação e a superfície a ser usinada chama-se cota de fabricação.

Como exemplo de referências de fabricação pode-se citar a linha geratriz (se transladada gera um cilindro) na superfície cilíndrica de uma peça, na qual se deseja usinar numa fresadora convencional, um rasgo de chave ou uma engrenagem também o conhecido “zero - peça”, que é a referência de todas as operações de usinagem numa máquina CNC (FERREIRA, 2012).

Como ilustração segue uma figura que exemplifica esta situação.

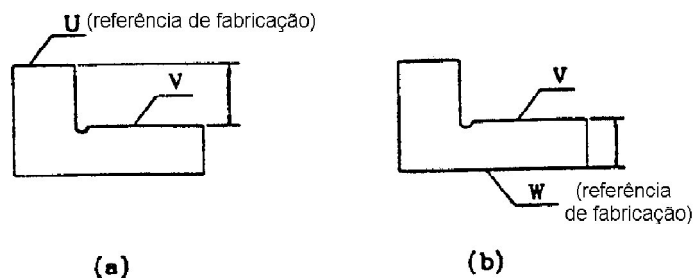


Figura 5 – Exemplos de referência de fabricação
Fonte: adaptado de Ferreira, 2012.

As figuras (a) e (b) ilustram referências de fabricação estas representadas pela letra U e pela letra W respectivamente. São mostradas também as cotas de fabricação.

2.3 TOLERÂNCIAS

Com o intuito de trazer precisão ao dispositivo, alguns cuidados devem ser tomados na hora de proceder com a fabricação. Cada peça deve ser feita respeitando os limites de tolerância como a de concentricidade, que pode estar presente na hora de fabricação da ponta e também na montagem do dispositivo

sendo que a ponta deve estar concêntrica com o resto do corpo. Também é importante manter quesitos como perpendicularidade e paralelismo.

2.3.1 Tolerância de Concentricidade

Para Martins (2002), concentricidade é a condição segundo a qual os eixos de duas figuras geométricas tais como cilindros, cones etc., são coincidentes.

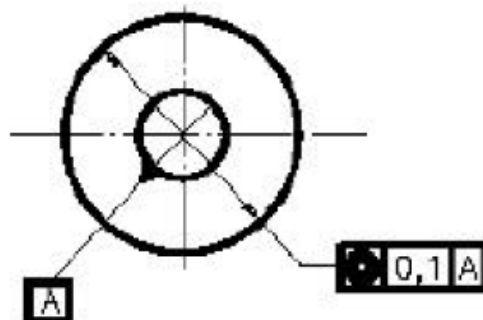


Figura 6 – Tolerância de concentricidade
Fonte: adaptado de Martins (2002).

Tolerância de concentricidade é a limitação de quanto os eixos de duas figuras geométricas podem estar distantes.

A figura 14 mostra uma representação de exigência posicional de concentricidade entre as figuras geométricas. A representação disposta na figura informa que a tolerância de concentricidade entre a geometria externa não deve ultrapassar 0,1 milímetros em relação ao centro de A.

Obs. O oposto de concêntrico é excêntrico.

2.3.2 Tolerância de Paralelismo

Segundo Martins (2002), tolerância de paralelismo é baseada na condição de uma linha ou superfície ser eqüidistante em todos os seus pontos de um eixo ou plano de referência.

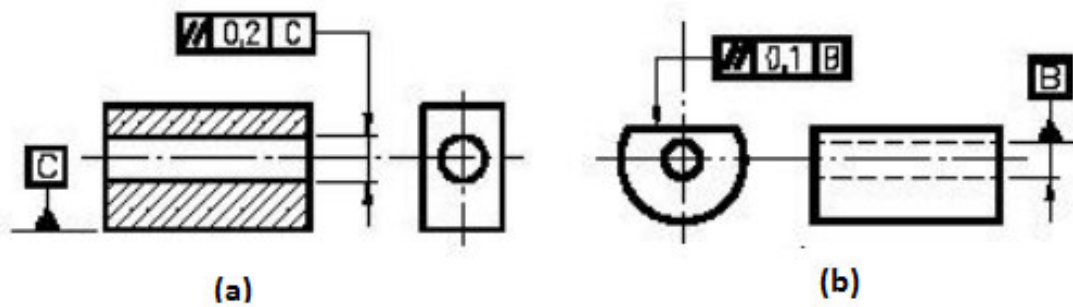


Figura 7 - Tolerância de paralelismo
Fonte: Martins (2002).

Na figura (a), temos uma simbologia representando que o furo deve estar paralelo com a superfície C dentro da tolerância de 0,2 milímetros. Para (b) o mesmo princípio se aplica.

2.3.3 Tolerância de Perpendicularidade

Para Martins (2002), é a condição pela qual o elemento deve estar dentro do desvio angular, tomando como referencia o ângulo reto entre uma superfície, ou uma reta, e tendo como elemento de referencia uma superfície ou uma reta, respectivamente.



Figura 8 - Tolerância de perpendicularidade
Fonte: Martins (2002).

A figura 17 indica uma representação qualquer de um caso de perpendicularidade onde a geometria referenciada deve estar com um paralelismo dentro da tolerância de 0,2 milímetros com a superfície de referencia B.

2.4 FRESADORAS VERTICAIS

Conhecer os movimentos da máquina é muito importante pra quem irá trabalhar operando-a, caso contrário fica até difícil de entender o próprio funcionamento do localizador.

As fresadoras verticais dispõem somente do eixo árvore vertical. São máquinas muito robustas e empregadas em serviços com necessidade de grandes potenciais. Isto tudo devido à grande rigidez permitida pela forma da coluna e pela disposição da cadeia cinemática (engrenagens, eixos e rolamentos). Segue abaixo uma ilustração de como é uma fresadora vertical (ROSA, 2010).

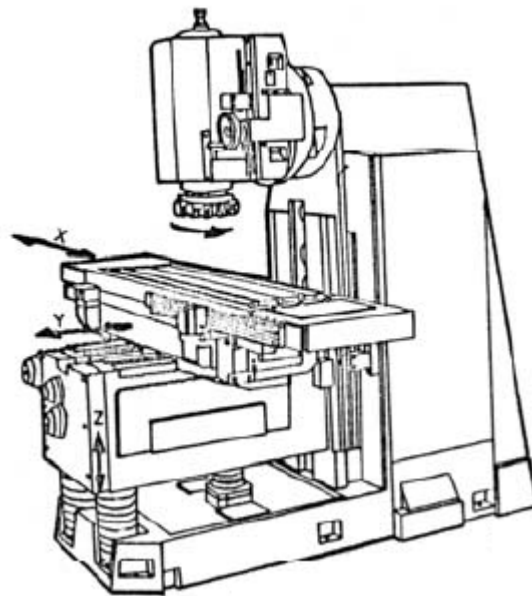


Figura 9 – Ilustração de uma fresadora vertical
Fonte: adaptado de ROSA, 2010.

A fresadora disponível no laboratório é uma fresadora ferramenteira da marca bridgeport, e seus movimentos básicos são o deslocamento retilíneo “X”, “Y” e “Z” da mesa sendo que estes podem ser dados pelos volantes de controle. No eixo “Z” ainda existe o movimento de rotação e translação do cabeçote, este eixo coincide com o eixo “Z” da mesa e também com o eixo da ferramenta que é o eixo central da mesma. Esta fresadora poderá utilizar o dispositivo localizador de arestas desde que o ela esteja com o cabeçote na vertical imitando uma fresadora vertical. O diâmetro máximo da pinça disponível é 20 milímetros e deverá ser considerada no projeto (BRIDGEPORT, (1984)).

2.5 FORÇAS DE ATRITO

Ao fazer a avaliação do dispositivo notam-se regiões onde existe a presença de atrito e que cuidados devem ser tomados na hora de dimensionar e também de construir para assegurar que o desgaste desta região seja mínimo.

A força de atrito é uma força natural que age quando existem dois corpos em contato. Um exemplo como citado no livro de física do autor Halliday seria a comparação de quando se impõe uma força no livro fazendo-o deslizar sobre uma bancada ou mesa. Obviamente que o livro desliza um pequeno período e depois para. Ao deslizar possui uma velocidade no sentido do movimento, contudo, aparece uma força paralela à bancada e oposta ao vetor velocidade fazendo com que esta seja reduzida até parar. Esta força oposta é a força de atrito.

A força de atrito surge em virtude das rugosidades presentes nas superfícies dos corpos. A intensidade da força de atrito depende da pressão inserida entre o objeto e a superfície de apoio, para isto temos que quanto maior for a força normal, maior será a força de atrito.

A força normal é uma medida de quão firmemente o corpo pressiona a superfície, é a força de reação que a superfície faz em um corpo que esteja em contato com esta, essa força está a noventa graus entre um e outro.

A figura 19 mostra um gráfico representando a intensidade da força de atrito no tempo, quando uma força qualquer é aplicada em um corpo sobre uma superfície tentando impor movimento a ele.

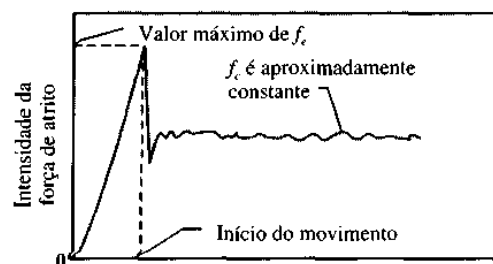


Figura 10 – Representação gráfica da intensidade do atrito

Fonte: adaptado de Halliday, 2006.

Ao adicionar a força ao corpo em repouso uma força no sentido oposto (atrito) tenta manter o sistema estacionário. Esta força vai se elevando à medida que a força aplicada aumenta até atingir um máximo, representada pelo pico mais elevado na Figura 10. Até este ponto a força de atrito existente é chamada de força

de atrito estático, e não há movimento do corpo. Passando este ponto o corpo entra em movimento, passando por uma etapa súbita de aceleração, e se em seguida quisermos manter a velocidade constante devemos reduzir a força ao valor máximo que tinha imediatamente antes do corpo entrar em movimento.

Contudo mesmo que o bloco esteja em movimento o atrito continua atuando, porém, esta forma de atrito recebe outro nome, se chamando agora força de atrito cinético.

Matematicamente falando as forças podem ser equacionadas da seguinte forma:

$$f_e = \mu_e * F_N \quad (\text{Força de atrito estático})$$

e,

$$f_c = \mu_c * F_N \quad (\text{Força de atrito cinético})$$

Onde F_N é a força normal, μ_e e μ_c são os coeficientes de atrito estático e cinético respectivamente.

Estes coeficientes são adimensionais e são determinados experimentalmente. Seus valores dependem de certas propriedades tanto do corpo como da superfície, sendo assim corpos diferentes ou com texturas diferentes podem gerar um coeficiente de atrito diferente em uma mesma superfície (HALLIDAY, 2006).

2.6 FORÇA CENTRÍPETA E CENTRÍFUGA

Para efeito de dimensionamento, o conhecimento da força centrípeta será um dos pontos chaves para a idealização matemática do dispositivo. Esta pode ser utilizada para definir o comportamento da ponta do localizador, que deve ficar quando não esta em contato com a peça, rotacionando concentricamente com o resto da carcaça.

Levando em conta um referencial inercial, como o qual representado por S na Figura 20Figura 11, o disco gira, na horizontal, com velocidade angular constante. A origem desse referencial coincide com o centro do disco e um de seus eixos cartesianos coincide com o eixo de rotação.

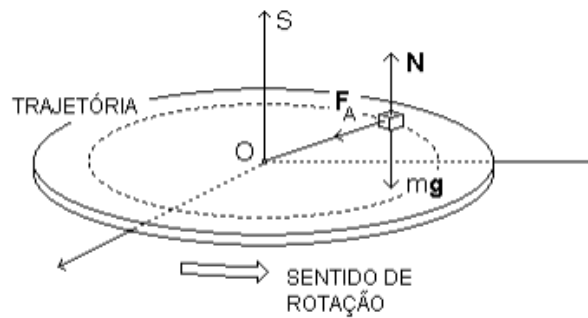


Figura 11 – Referencial inercial

Fonte: UFSM, 2011.

Um bloco está sobre o disco, e os dois estão relativamente parados entre si. No referencial S, o movimento do bloco é um movimento circular uniforme. Então, a força resultante sobre o bloco é a força centrípeta e tem módulo:

$$F_{CP} = m * v^2 / R$$

Onde m , v e R representam, respectivamente, a massa, o módulo da velocidade linear e o raio da trajetória circular do bloco.

No referencial inercial S, atua sobre o bloco a força peso, mg , vertical e apontando para baixo, a força normal, N , vertical e apontando para cima, e a força de atrito estático, F_A , horizontal e apontando para o centro O da trajetória. Como não há movimento do bloco na direção vertical, a segunda lei de Newton garante que a soma vetorial da força peso com a força normal é zero. Assim, a força de atrito estático, que a superfície do disco exerce sobre o bloco, é a resultante das forças que atuam sobre o bloco e é, portanto, a força centrípeta que causa o seu movimento circular uniforme. Se feito o diagrama concluímos que a força de atrito é igual a força centrípeta ($F_c = F_A$). Se fosse possível retirar o atrito em um determinado instante, teríamos que o corpo iria deslizar de forma retilínea para fora do disco, pois a força de atrito que está equilibrando o corpo, desaparece.

Se considerarmos um referencial fixo no bloco como, por exemplo, aquele representado por S^* na Figura 12, este é um referencial não inercial porque gira no referencial inercial S.

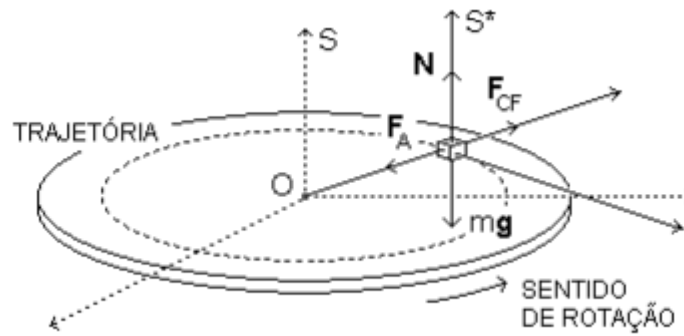


Figura 12 - Referencial não inercial
Fonte: UFSM, 2011.

A força peso, mg , vertical e apontando para baixo, a força normal, N , vertical e apontando para cima, e a força de atrito estático, F_A , horizontal e apontando para o eixo de rotação do disco, continuam agindo sobre o bloco.

Consideremos que a segunda lei de Newton possa ser aplicada no referencial não inercial S^* . Assim, como o bloco está em repouso nesse referencial, pode-se afirmar que a resultante das forças que atuam tanto na vertical quanto na horizontal são zero. Na vertical, a soma vetorial da força peso com a força normal é zero. Na horizontal, contudo, deve existir outra força atuando sobre o bloco, de modo que sua soma vetorial com a força de atrito estático seja zero. Em outras palavras, deve existir, atuando sobre o bloco, uma força horizontal com o mesmo módulo e a mesma direção que a força de atrito estático, isto é, a direção da reta que passa pelo centro do disco e pelo bloco, mas sentido contrário, isto é, apontando do centro do disco para o bloco. Essa força, que só existe no referencial não inercial, é a força centrífuga, F_{CF} .

$$F_{CF} = F_A$$

A força de atrito estático entre duas superfícies em contato só vão existir se essas superfícies, embora em repouso relativo, tenham a tendência de se mover uma em relação à outra. Com a força centrífuga o mesmo acontece, ou seja, ela só vai existir no referencial não inercial, e somente quando existir a tendência do bloco se mover em relação ao disco no sentido de se afastar do seu centro, e é por isso que aparece, simultaneamente, a força de atrito estático.

Para a força centrífuga, contudo, não existe uma força de reação. No referencial não inercial S^* , a força centrífuga e a força de atrito estático têm módulos iguais, direções iguais, porém sentidos opostos, mas mesmo assim não constituem

um par ação-reação porque atuam sobre o mesmo corpo e são de naturezas diferentes: a força de atrito estático é de caráter eletromagnético e a força centrífuga, um efeito devido ao caráter não inercial do referencial usado para descrever o movimento do bloco e que não pode ser associado a qualquer interação fundamental.

Como discutimos acima, a força centrífuga tem o mesmo módulo que a força de atrito estático e como discutimos mais acima, a força centrípeta tem também o mesmo módulo que a força de atrito estático. Assim, a força centrífuga (que existe num referencial não inercial) e a força centrípeta (que existe num referencial inercial) têm o mesmo módulo e podemos escrever.

$$F_{CF} = m * v^2 / R$$

Especificar um referencial significa estabelecer como um sistema de três eixos ortogonais está disposto em relação aos corpos que participam do fenômeno que se quer descrever. A escolha do referencial é completamente arbitrária, mas a escolha se reflete no modo como o fenômeno é descrito. A primeira lei de Newton estabelece a existência dos referenciais inerciais. Por isso, estabelece também, indiretamente, a existência de referenciais não inerciais. A segunda lei pode ser considerada válida em todos os referenciais. Contudo, ao considerá-la válida em referenciais não inerciais, temos que aceitar a existência de forças que não podem ser associadas a qualquer interação fundamental. A terceira lei de Newton não vale para referenciais não inerciais (UFSM, 2011).

2.7 MATERIAIS METÁLICOS

Atualmente vários setores da engenharia e da indústria utilizam ligas metálicas nas mais diversas aplicações. Para isto considerações devem ser feitas durante a escolha, basicamente tudo gira em torno das propriedades mecânicas, ou seja, a sua capacidade de suportar esforços as quais o produto estará sujeito. Contudo, outros fatores também devem ser levados em conta como, por exemplo, resistência a corrosão para produtos que atuarão em meio corrosivo, dentre outras (resistência térmica, propriedades elétricas e magnéticas).

Para isto se faz necessário o conhecimento do tipo de estrutura, da composição química e dos processos de fabricação.

Dentro deste contexto podemos relacionar como exemplo o processo de fabricação por fundição. Muito importante, e que deve ser de extremo conhecimento para quem o utiliza para fabricação de componentes, pois como o material passa por mudanças de fases, podendo ainda ser advertido por condições diferentes de resfriamento, podem existir falhas, ou ainda existir mudanças significativas nas propriedades mecânicas considerando antes e depois de fundido.

Deste modo, o controle da estrutura metálica passa a ser um fator decisivo para a correta seleção e aplicações dos materiais metálicos.

O meio mais seguro e eficiente de se fazer este controle, pode ser a técnica conhecida como tratamento térmico que visa à modificação ou obtenção de uma estrutura através do aquecimento e resfriamento controlado, trazendo em consequência disso diferentes propriedades finais. Nesta técnica não existem modificações químicas, apenas modificação na forma com que os átomos estão arrançados.

A importância do tratamento aumenta à medida que aumenta-se a intensidade das condições de serviço e quanto mais complexas forem as ligas. Ligas ferrosas são as mais importantes ou as que mais são utilizadas para tratamento térmico, e deve-se conhecer muito bem a composição química para que o tratamento seja aplicado corretamente, e por final obter as características requeridas.

Existem vários tipos de tratamentos e cada vez mais vem se aprimorando com o surgimento de novas ligas. Entretanto neste trabalho será descrito um pouco sobre o tratamento térmico de têmpera, já que este pode ser que seja útil para a construção do dispositivo em estudo (CHIAVERINI, 2008).

2.8 TÊMPERA E REVENIDO

Neste dispositivo existem regiões como na união entre o corpo e a ponta, em que o atrito estará presente. É fácil prever que nesses locais o desgaste pode ser elevado e rápido dependendo o tipo de material e a intensidade de uso, o que pode com o tempo prejudicar a precisão. Para tentar evitar tais defeitos cogita-se a aplicação de um tratamento de endurecimento do material.

Para o material que será utilizado, a princípio um aço que possui propriedades que permitam o aumento de resistência, pode ser utilizado o

tratamento de tempera e revenido, basta o aço possuir carbono ou elementos de liga necessários.

Têmpera é o tratamento térmico que através dele pode-se aumentar ou simplesmente modificar a estrutura de materiais metálicos para conferir ao material tratado melhores propriedades, sendo assim a possibilidade de utilização da peça em situações de maior responsabilidade, característica que a peça sem tratamento poderia não conferir. Tal tratamento sempre deve ser feito acompanhado de um revenido para aliviar tensões e tornar a peça útil.

A operação de tempera consiste no aquecimento do material até a temperatura de austenitização do material e em seguida um resfriamento rápido em um meio onde a transferência de calor seja rápida, neste caso pode ser possível em água, salmoura, óleo e em alguns casos até ao ar, tudo depende da composição do material que resulta na chamada temperabilidade.

A velocidade de resfriamento deve ser tal que a curva de resfriamento pelo menos tangencie o cotovelo ou joelho da curva de início de transformação do gráfico TTT (Tempo, Temperatura e Transformação) do respectivo material.

Esta técnica visa a obtenção do constituinte conhecido como martensita, uma estrutura metaestável originária do cisalhamento da rede de austenita e não da difusão. É uma substância supersaturada composta por células tetragonais de corpo centrado (TCC) e sua capacidade de endurecimento é dependente da quantidade de carbono e dos elementos de liga presentes.

Caso a martensita seja obtida deve ser feito em seguida o revenido que serve para aliviar as tensões, pois a martensita pura é muito dura e frágil (CHIAVERINI, 2008).

O objeto em estudo terá regiões onde necessita-se de resistência ao desgaste, sendo assim o tratamento de têmpera, poderá trazer alguns benefícios.

2.9 SUPERFÍCIES EM CONTATO E DESGASTE POR ABRASÃO

O desgaste é um dos principais focos do estudo da tribologia, e esta ligada diretamente com superfícies em contato. CODEÇO, 2009 cita uma definição em sua dissertação de mestrado a qual define a tribologia como a ciência e a tecnologia da interação entre superfícies com movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionadas, sendo assim liga-se esta teoria diretamente com o estudo do atrito.

Verificam-se no dispositivo em estudo regiões que são passíveis de desgaste através do atrito, mais especificamente na ponta do dispositivo onde haverá movimento e contato entre dois materiais que podem ter a mesma dureza ou ainda durezas diferentes, e também no contato que liga o corpo do dispositivo com a ponta do mesmo.

NORTON, 2013 expôs uma tabela em seu livro a qual relaciona alguns valores para coeficientes de atrito entre duas superfícies.

Material 1	Material 2	Estático		Dinâmico	
		Seco	Lubrificado	Seco	Lubrificado
aço doce	aço doce	0,74		0,57	0,09
aço doce	ferro fundido		0,183	0,23	0,133
aço doce	alumínio	0,61		0,47	
aço doce	latão	0,51		0,44	
aço duro	aço duro	0,78	0,11 – 0,23	0,42	0,03 – 0,19
aço duro	metal branco (<i>babbitt</i>)	0,42 – 0,70	0,08 – 0,25	0,34	0,06 – 0,16
Teflon	Teflon	0,04			0,04
aço	Teflon	0,04			0,04
ferro fundido	ferro fundido	1,10		0,15	0,07
ferro fundido	bronze			0,22	0,077
alumínio	alumínio	1,05		1,4	

Figura 13 – Coeficientes de atrito para algumas combinações de materiais.
Fonte: NORTON, 2013.

Quando duas superfícies são pressionadas uma contra a outra por uma força, sua área aparente de contato A_a é facilmente calculada por geometria, porém sua área real de contato A_r é afetada pelas asperezas presentes em suas superfícies, e é mais difícil de determinar com precisão. A Figura 14 mostra duas peças em contato. As pontas das asperezas de uma das peças vão inicialmente entrar em contato com pontos da outra peça, e a área inicial de contato será extremamente pequena. As tensões resultantes sobre as asperezas serão muito altas, e podem facilmente ultrapassar o limite de escoamento em compressão do material.

À medida que a força de junção das duas peças é aumentada, as pontas das asperezas escoam e se alargam até que sua área combinada seja suficiente para reduzir a tensão média a um nível sustentável, isto é, algo como resistência à penetração por compressão do material menos resistente.

Pode-se obter uma medida da resistência à penetração por compressão a partir de ensaios convencionais de dureza (Brinell, Rockwell, etc.), os quais forçam

uma ponta bastante fina contra o material e o deformam (escoam) com a forma dessa ponta (NORTON, 2013.).

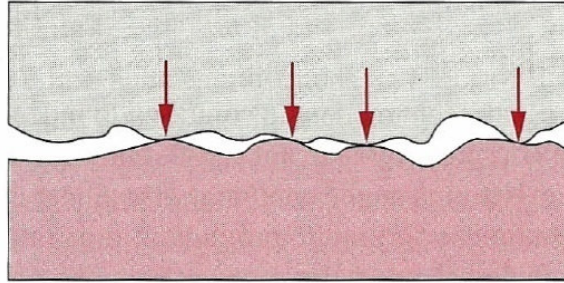


Figura 14 – O contato real entre as superfícies esta somente nas pontas das asperezas.

Fonte: NORTON, 2013.

A abrasão ocorre de dois modos distintos, denominados processos de desgaste abrasivo a dois corpos ou três corpos. A abrasão a dois corpos se refere a um material duro e rugoso deslizando sobre um material mais mole. A superfície mais dura penetra na superfície mais mole e dela retira material.

Um exemplo é uma ferramenta utilizada para usinar uma peça de metal. A abrasão a três corpos se refere à introdução de partículas duras entre duas superfícies deslizantes, sendo pelo menos um dos dois corpos mais mole do que as partículas. As partículas duras causam abrasão em uma das superfícies ou em ambas. O esmerilhamento e o polimento se encaixam nessa categoria. Abrasão é, então, um processo de remoção de material no qual as superfícies afetadas perdem massa a uma taxa controlada ou não. O desgaste abrasivo como o adesivo ambos obedecem à equação:

$$V = K Fl/H$$

onde V = volume de desgaste do material mais mole, F = força normal, l = comprimento de deslizamento e H é a dureza à penetração em kgf/mm^2 ou psi . Pode-se expressar H em escala Brinell (HB), Vickers (HV) ou outra unidade de dureza absoluta. O fator K é o coeficiente de desgaste e é uma propriedade adimensional do sistema deslizante. K é uma função dos materiais utilizados e também da condição de lubrificação. Alguns valores podem ser encontrados no livro de referência deste tópico.

Ou ainda a equação acima pode ser reescrita em função da profundidade de desgaste “d”

$$d = K Fl / (HA_a)$$

onde os valores K, F, l e H são os mesmos que os anteriores, apenas ocorre acréscimo da variável A_a na equação que representa a área aparente de contato da interface (NORTON, 2013).

2.10 USINABILIDADE

A usinabilidade termo bastante usado no estudo dos processos de usinagem, e diz respeito tanto ao material da peça quanto ao da ferramenta, e às variáveis de processo envolvidas no corte dos metais.

Segundo Amorim *apud* Mills e Redford (1983) a usinabilidade é a propriedade de um material que governa a facilidade ou a dificuldade com a qual este material pode ser usinado usando uma ferramenta de corte.

Amorim *apud* FERRARESI, 1970 expõe os principais fatores que influem na determinação da usinabilidade de um material que são:

Tabela 1 - Fatores que influenciam na determinação da usinabilidade

Material da Peça	Ferramenta de Corte	Processo / Máquina
Composição química	Geometria da ferramenta	Processo de usinagem adotado
Microestrutura	Material da ferramenta	Condições de usinagem (V_c , f, a_p)
Propriedades físicas, químicas e mecânicas		Condições de refrigeração (fluido de corte)
		Rigidez da máquina, ferramenta e fixação da peça.

Fonte: AMORIM, 2003.

A usinabilidade do material quanto à composição química varia dependo dos elementos de liga envolvidos. Se o aço contiver elementos de liga como enxofre (0,08 e 0,13% em massa). O enxofre interage com o manganês, resultando na

formação de precipitados de sulfeto de manganês (MnS). O MnS causa o aumento da usinabilidade dos materiais devido aos seguintes fatores:

- Ocorrência de uma camada de MnS, que adere à superfície de saída da ferramenta, reduzindo as forças de corte através da redução do atrito entre cavaco e ferramenta;
- Aumento na vida da ferramenta, através da proteção oferecida à aresta de corte e à superfície de saída pela camada de MnS, que diminui os desgastes abrasivo e difusivo;
- Redução das forças de corte através da diminuição da resistência ao cisalhamento do material.

O chumbo (0,1 à 0,35 % em massa) melhora a usinabilidade dos aços devido à formação de inclusões que facilitam a quebra do cavaco, também atua como lubrificante.

O fósforo (0,1 à 0,35 % em massa) este dissolve-se na ferrita aumentando a dureza e como consequência facilitando a quebra do cavaco. O manganês deve ser adicionado junto com o enxofre, caso contrário diminui a usinabilidade por se tornar duro. O cálcio é um elemento com uma vantagem bastante relevante, pois sua aplicação permite o aumento da usinabilidade não interferindo nas propriedades mecânicas do aço.

Outros materiais também podem auxiliar no aumento da usinabilidade como o selênio e telúrio. Da mesma forma existem alguns elementos de liga que causam um efeito negativo na usinabilidade de aços que são carbono, manganês (na ausência de enxofre), níquel, cobalto e molibdênio.

Quanto à dureza e resistência mecânica admite-se que em altos valores, estas propriedades diminuem a usinabilidade dos materiais, por oferecer demasiada resistência ao processo de corte. Em valores muito baixos, porém, causam a diminuição da usinabilidade devido ao favorecimento à formação de APC a baixas velocidades de corte, e porque o material tende a deformar muito antes de romper, aumentando a área de contato cavaco-ferramenta, o que causa um aumento nas forças de corte devido ao maior atrito na superfície de saída. Logo, deve-se tomar cuidado quanto à dureza do material, de modo a, sempre que possível, usar materiais com durezas intermediárias.

Amorim *apud* Diniz (1999) sugere um valor médio de dureza próximo a 200 HB como um ponto a partir do qual a variação da dureza, tanto para cima quanto para baixo, afeta de forma negativa um ou mais critérios de usinabilidade.

Materiais que possuem alta taxa de encruamento necessitam de demasiada energia para a formação do cavaco, com conseqüente aumento na força de corte. Em conseqüência, haverá uma fina camada superficial de material encruado, o que, entre outras coisas, pode causar diferenças em passes posteriores de usinagem. Além disso, estes materiais apresentam maior dificuldade de se obter a quebra do cavaco, que, além dos problemas típicos apresentados pelo cavaco contínuo (alto coeficiente volumétrico, acabamento superficial pobre, ricos à peça, ferramenta e operador) apresenta maior superfície de contato com a ferramenta e o aumento da possibilidade de ocorrência da aresta postiça de corte (APC).

Um exemplo comum de uma classe de materiais com alta taxa de encruamento são os aços inoxidáveis, em especial os austeníticos.

Um método recomendado para facilitar a usinagem de aços com altas taxas de encruamento é o encruamento do material, através de trabalho mecânico a frio, antes da realização da usinagem. Este encruamento reduz a ductilidade e, com isto, a ocorrência da APC.

Condutividade Térmica atua de duas maneiras sobre o material: se este possui uma alta condutividade térmica, o calor gerado no corte é retirado rapidamente da interface peça ferramenta, de modo que a ferramenta não seja superaquecida, o que diminui seu desgaste. Por outro lado, materiais com baixa condutividade térmica tendem a apresentar altas temperaturas na interface cavaco-ferramenta, causando uma redução na resistência ao cisalhamento do material da peça, facilitando seu corte (AMORIM, 2003).

2.11 MOLAS

A seleção da mola é imprescindível, pois é ela quem terá a função de segurar a parte móvel junto ao corpo do dispositivo. Sua seleção será em função do cálculo das forças existentes, e das características construtivas necessárias.

Qualquer material elástico possui capacidade de formar uma mola, a diferença de uma mola e um material elástico está na configuração geométrica em

que se encontram. Uma mola é na verdade um material elástico com forma diferenciada feita propositalmente para que haja a maior quantidade de energia absorvida.

Independentemente de sua configuração toda mola tem uma constante elástica que pode ser definida matematicamente como:

$$K = F/y$$

Onde, F é a força aplicada gerando ou não deformação, e y o comprimento que esta se deforma.

Existem vários tipos de molas para as mais diversas aplicações exemplos dessas podem ser molas helicoidais tanto de passo constante como variável, molas em forma de barril, ampulheta, cônica, helicoidais de tacão/compressão e também torção entre outras. Levando em conta a aplicação proposta neste trabalho a equação citada acima pode ser facilmente aplicado a molas de tração, definindo fatores de força (NORTON,2007).

2.12 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Os processos de fabricação que serão aplicados na construção do dispositivo são comuns. Os mais relevantes são a usinagem, a lapidação e o polimento.

2.12.1 Usinagem

O processo de fabricação por usinagem pode ser utilizado devido a suas vantagens que são:

- São relativamente mais precisos que os processos de conformação e fundição;
- Podem produzir geometrias complexas que não são difíceis de serem obtidas por outros processos;
- São adequadas para operações posteriores à tratamentos térmicos, para corrigir distorções causadas por estes;
- Podem gerar superfícies com padrões especiais;
- Dependendo do tamanho do lote, para lotes pequenos é mais econômico produzir as peças por usinagem;

A escolha também deve levar em conta a facilidade de acesso e disponibilidade das máquinas na instituição juntamente com o custo (CUNHA, 2012).

As operações de usinagem que serão utilizadas será o torneamento externo, faceamento, furação de centro e a furação propriamente dita. O torneamento é um processo de usinagem onde se utiliza uma ferramenta cortante que fica estática e a peça gira em torno do um eixo principal de rotação da máquina. Quando a ferramenta toca a peça que esta em movimento ela começa a remover material formando assim os cavacos e dando novas formas a peça.

Já o faceamento é o processo onde a ferramenta avança perpendicularmente ao eixo principal da máquina, visando obter uma superfície plana. Esta operação é necessária para garantir a precisão da face a ser usinada. Ocorre geralmente em barras que são cortadas em processos que não trazem a precisão desejada como, por exemplo, a serra fita.

A furação de centro serve para obtenção de um furo de centro, visando uma operação posterior na peça, no caso a furação propriamente dita. Serve para garantir melhor precisão no furo. É feita com uma broca curta a qual trás maior garantia de que não irá flambar desviando a direção do furo (MACHADO, 2009).

2.12.2 Polimento

Polir é um processo mecânico de acabamento de uma peça que visa tornar sua superfície lisa e de aparência espelhada. O polimento, portanto, propicia boa qualidade de acabamento de um produto final.

Numa superfície cortada com ferramenta podemos perceber as marcas de usinagem sob a forma de estrias. Essas estrias, que são formadas pela ferramenta de corte, convencional ou por rebolo, recebem o nome de rugosidades que podem ser medidas e consideradas em termos de qualidade de acabamento.

A operação de polir tem as seguintes finalidades:

- Dar, a qualquer superfície, acabamento de boa apresentação, espelhado, sem que a superfície precise ter precisão de formas e de medidas;
- Criar uma camada superficial de proteção da peça, impedindo a ação corrosiva de ácido, de certos sais químicos, ferrugem etc.;
- Preparar peças a serem submetidas a operações de revestimento superficial por galvanoplastia, como niquelagem e cromagem. Depois dessas

operações, melhorar o aspecto da superfície, dando às peças niqueladas ou cromadas um brilho mais vivo.

Geralmente, o polimento é feito por uma ferramenta na forma de um disco ou conjunto de discos, revestidos com substâncias abrasivas. Podem também ser utilizadas lixas ou bastões abrasivos (TELECURSO 2000, 2000).

2.12.3 Lapidação

Lapidar é retificar superfícies de peças com elevado grau de acabamento. Antes da lapidação, coloca-se um líquido, água ou óleo, sobre uma placa metálica. Em seguida, espalha-se pó abrasivo sobre o líquido.

A seguir, passa-se a superfície da peça a lapidar sobre a placa preparada, imprimindo-lhe movimentos rotativos. Quanto mais duro for o material da peça a ser lapidada, maior deve ser a dureza do grão abrasivo (TELECURSO 2000, 2000).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho é a metodologia de projeto presente no livro PROJETO DE MÁQUINAS do autor NORTON, 2004 a qual é resumida na seguinte tabela.

Tabela 2 – Metodologia de projetos

Metodologia de projetos
1- Identificação das Necessidades
2- Pesquisa de Suporte
3- Definição dos Objetivos
4- Especificações de Tarefas
5- Síntese
6- Análise
7- Seleção
8- Projeto Detalhado
9- Protótipo e Teste
10- Produção

Fonte: NORTON, 2004.

Contudo, a ordem de realização das atividades segundo a metodologia empregada será adaptada em alguns itens obedecendo a seguinte sequência:

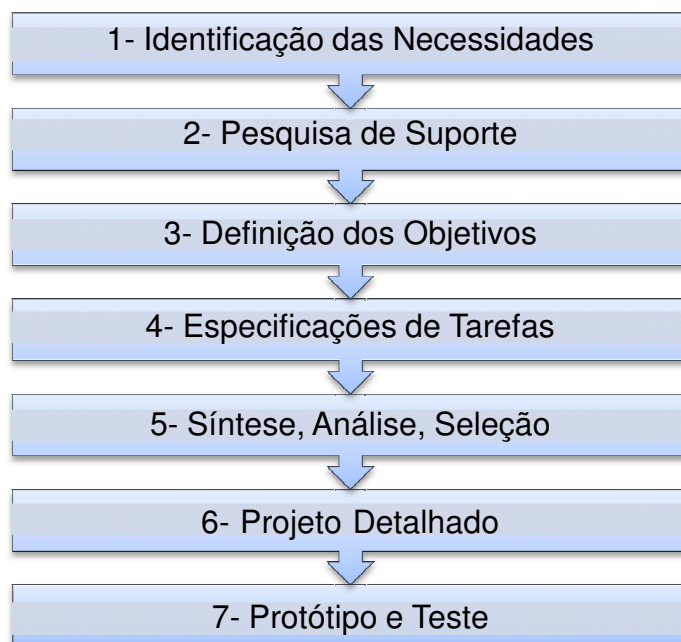


Figura 15 – Sequência da metodologia empregada

Fonte: Autor, 2014.

A etapa final que seria a preparação para a produção será desprezada, pois o dispositivo a princípio não será fabricado em massa.

Cronograma das atividades:

Atividades	MÊS						
	4	5	6	7	8	9	10
Revisão Bibliográfica	X	X	X	X			
Identificação das Necessidades		X					
Pesquisa de Suporte		X					
Definição dos Objetivos		X					
Especificações de Tarefas		X	X				
Síntese, Análise e Seleção		X	X				
Projeto Detalhado			X	X	X		
Protótipo e Teste				X	X	X	
Apresentação Final							X

3.1 IDENTIFICAÇÃO DA NECESSIDADE

O dispositivo se faz necessário quando se quer fabricar detalhes de peças como furos e rasgos de chaveta com precisão dimensional de posicionamento. Sua função é ajudar a posicionar o eixo central da ferramenta de forma a coincidir com uma referência de fabricação (aresta) existente na peça para que posteriormente seja fabricado o detalhe com garantia de precisão e repetição, e conseqüentemente maior qualidade.

3.2 PESQUISA DE SUPORTE

Hoje em dia, a quantidade de acessórios para usinagem esta cada vez maior, principalmente com a recente utilização de materiais novos que vem aparecendo. Quando o assunto é máquinas automatizadas isso fica ainda mais complexo, pois a eletrônica vem avançando muito aumentando a possibilidade de equipamentos novos, e conseqüentemente uma gama maior de dispositivos.

Neste trabalho o acessório a ser fabricado é referente a uma máquina não automatizada, porém será feito um comparativo com os produtos existentes utilizados em fresadoras e furadeiras convencionais.

Para solucionar o problema de localização de referências de fabricação foram criados os localizadores de aresta mecânicos que é basicamente o qual será construído. Um modelo bastante comum para se exemplificar pode ser o localizador de arestas da fabricante MATCHLING[®], que promete precisão do ponto zero até a peça de 0,005 milímetros, e é recomendado para utilização preferencial em fresas e furadeiras. A seguir temos uma imagem de um destes equipamentos (COMERCIAL CELMAR, 2013).



Figura 16 – Localizador de arestas MATCHLING[®]

Fonte: COMERCIAL CELMAR, 2013.

O diâmetro do corpo do localizador de arestas MATCHLING[®] é 10 milímetros, a parte móvel possui 4 milímetros de diâmetro, com um comprimento de 88 milímetros no total. A rotação de utilização varia numa faixa de 400 à 600 RPM.

Da mesma forma podemos comparar a marca STARRETT[®], que também fabrica equipamentos com o mesmo princípio de funcionamento, porém, o dispositivo é um pouco mais completo, fornecendo a opção de dupla funcionalidade.

O localizador de arestas STARRETT[®] não somente localiza arestas, mas também tem a função de localizar pontos de centro e linhas traçadas, devido a um contato pontiagudo existente em uma das extremidades. Abaixo segue uma ilustração de como é o formato deste localizador (STARRETT[®], 2011).



Figura 17 – Localizador de arestas STARRETT[®]

Fonte: STARRETT[®], 2011.

O diâmetro do corpo é 10 milímetros e o diâmetro do contato é 6 milímetros.

A forma de utilização de ambos os localizadores de arestas são iguais, sendo que este deve ser colocado em uma pinça ou mandril. A mesa de trabalho é então movimentada em sentido rotatório, para que a ponta do localizador fique em contato com a peça. O contato fará com que a ponta do localizador saia da posição concêntrica fazendo-o vibrar. Um ligeiro ajuste fará com que a ponta retorne ao centro e em seguida, sairá novamente ficando excêntrica, porém ficará em equilíbrio fora de seu centro. Neste ponto, o centro do localizador estará distante da aresta da peça, exatamente na metade do diâmetro do contato, permitindo localização precisa para outras operações de usinagem relativas à aresta (STARRETT®, 2011).

Steve, 2013 é um australiano que possui algumas paginas na internet em que ele compartilha alguns de seus hobbies e em uma delas ele coloca algumas informações de como ele construiu um localizador de arestas de baixo custo.

Nesta página pode-se encontrar algumas informações mesmo de forma bem superficial, mas que sempre ajudam a entender e trazer idéias novas.

Segundo Steve (2013) os materiais utilizados foram um eixo de meia polegada e uma mola fina e comprida. Abaixo segue um esboço concebido pelo próprio Steve o qual traz informações de dimensões utilizadas no seu protótipo.

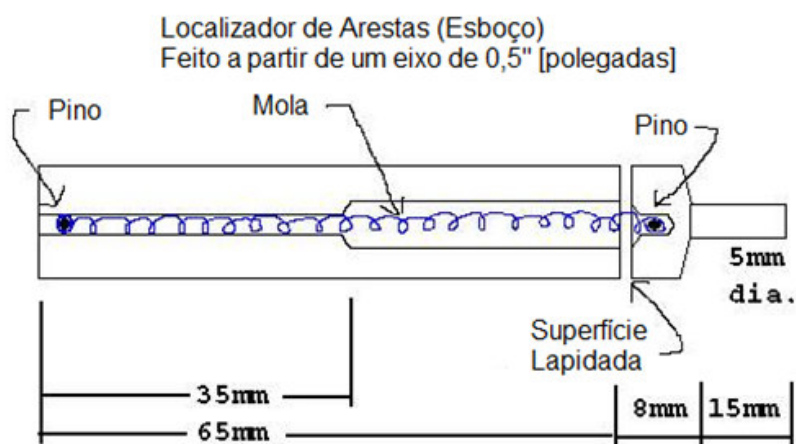


Figura 18 – Esboço do localizador de arestas construído por STEVE (2013).

Fonte: Adaptado de Steve, 2013.

3.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

- (I) Projetar o dispositivo localizador de arestas.
- (II) Construir o dispositivo localizador de arestas.
- (III) Testar o dispositivo localizador de arestas.

3.4 ESPECIFICAÇÃO DE TAREFAS

Neste item defini-se a função do dispositivo e quais as limitações a serem consideradas no projeto.

- O dispositivo terá como função localizar referenciais de fabricação com precisão.
- Localizar apenas arestas planas retas.
- Seu projeto será baseado na rotação de 600 RPM, pois os dispositivos comerciais atuam até esta faixa de rotação ou menos.
- O diâmetro do dispositivo deve ser coerente com o diâmetro disponível das pinças, neste caso um diâmetro máximo de 20 milímetros.
- O pino de regulação poderá ter até 20 milímetros pra fora da extremidade superior do dispositivo caso contrário fica difícil prender na pinça.
- O comprimento total do corpo baseado no croqui disposto por Steve (88 [mm]) não deverá passar de 140 milímetros, caso contrário acredita-se que ficará muito comprido em relação a seu diâmetro. Em contrapartida pequenas adaptações podem ser feitas em função do comprimento da mola utilizada.

3.5 SÍNTESE, ANÁLISE E SELEÇÃO

Para resolução do problema foi aderido duas formas construtivas se seguem abaixo:

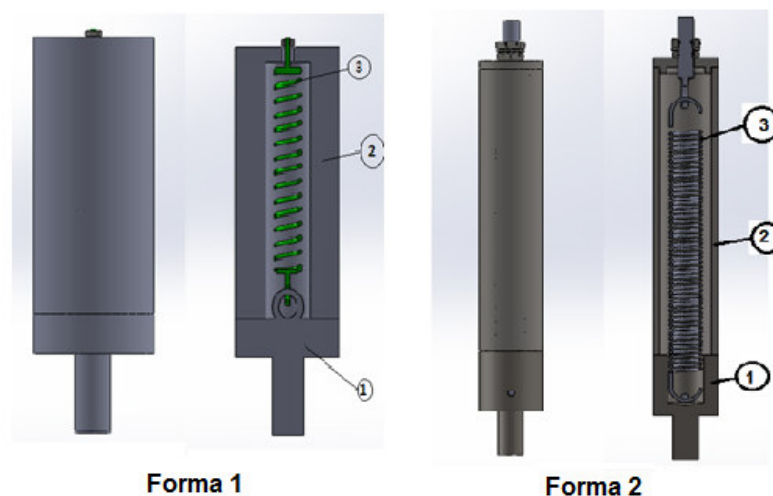


Figura 19– Soluções possíveis
Fonte: Autor, 2014.

Nota-se na imagem da direita (Forma 2) uma forma mais aperfeiçoada com algumas melhorias em relação a forma a esquerda (Forma 1) a qual foi o primeiro croqui desenvolvido. Detalhes como o tipo de fixação da mola foi aperfeiçoado para melhor funcionamento do dispositivo e facilitar a construção. Para o pino de ajuste uma forma mais correta de construção foi utilizada fazendo o uso então uma arruela de pressão entre as duas porcas.

Verificando as possibilidades nota-se que a forma 2 é mais adequada e esta será a forma com que o produto pretende ser concebido.

3.6 PROJETO DETALHADO

A etapa que diz respeito ao Projeto Detalhado será baseado nos seguintes itens:

1 – Determinar o material para a construção do dispositivo. Avalia-se a dureza sendo que o material deverá ser perfeitamente usinável e posteriormente endurecível para ter resistência ao desgaste.

2 - Tendo-se definido a forma construtiva avaliam-se as dimensões gerais do dispositivo e as massas. Nesta etapa equaciona-se o problema em termos de força da mola, força de atrito e força centrípeta.

3 – Selecionar a mola para que esta atenda as exigências encontradas no equacionamento. A mola será comprada pronta e não fabricada.

4 - Definem-se os processos de fabricação que serão utilizados respeitando-se a capacidade dos laboratórios da instituição. Define-se a necessidade de consulta a outros especialistas para as execuções das várias etapas do projeto.

3.6.1 Determinação do Material

Levando em conta a abordagem do item 2.3.9 sobre desgaste pode-se concluir a necessidade do dispositivo em possuir certa dureza para que não haja desgaste prejudicando assim a confiabilidade deste.

Analisando os materiais de fácil acesso na região encontra-se o aço SAE 1045, que é passível de têmpera e também de usinagem. Uma pequena pesquisa de dados comerciais foi realizada para comparação. O site da GGD METALS uma grande distribuidora de materiais foi consultado, e lá havia disponível um catálogo

que se encontra em anexo onde traz informações técnicas sobre o aço 1045. Nele pode-se concluir que a condição máxima de dureza de fornecimento do material está por volta de 26 HRC (Rockwell C). Também está disponível gráficos orientativos com as curvas de temperabilidade e também de revenido.

A dureza do material depois de temperado segundo o catalogo está por volta de 55 HRC na superfície (GGD METALS, 2014).

Estes dados podem ser confirmados no site da GERDAU DO BRASIL que também fornece aços trefilados em uma faixa abaixo dos 26 HRC e informa que com tempera o aço pode atingir até 55 HRC (GERDAU DO BRASIL, 2014).

A usinabilidade do aço será considerada em relação a sua dureza apenas, pois outros critérios como composição química requer análise microestrutural ou ainda certificação do material, contudo estes itens não serão aprofundados porque neste caso não é tão relevante quanto à dureza do material, que quando muito elevada desgaste diminui consideravelmente a vida útil da ferramenta.

Segundo o referencial teórico a dureza média para uma boa usinabilidade é de 200 HB que equivale à próximo de 14 HRC e que a ferramenta utilizada na fabricação é de aço rápido chegando a mais de 65 HRC conclui-se que a dureza média para usinabilidade não está tão distante da dureza máxima de fornecimento do material (26 HRC) e que a ferramenta também é adequada indicando assim uma usinabilidade relativamente boa.

No estado tratado a dureza aumenta repentinamente e, contudo a usinabilidade baixa bastante causando assim um desgaste mais elevado na ferramenta. Entretanto a peça será usinada antes do tratamento térmico e no estado tratado apenas serão efetuadas operações de acabamento onde não há a retirada de grandes camadas de material.

O aço proposto trata-se de um material não ligado, isto significa que o tratamento térmico tem maior influencia na superfície da peça e menor no núcleo, porém como o dispositivo sofrerá apenas desgaste superficial considera-se então o tratamento térmico útil para proteção da superfície. Caso houvesse a necessidade de resistência no núcleo da peça, um aço ligado seria conveniente, pois quanto mais elementos de liga melhor é a temperabilidade do material, e maior será a profundidade de seção que sofrerá transformação. A profundidade de transformação e conseqüentemente endurecimento do aço SAE 1045 pode ser identificado nas curvas de temperabilidade disposta no catálogo da GGD Metals.

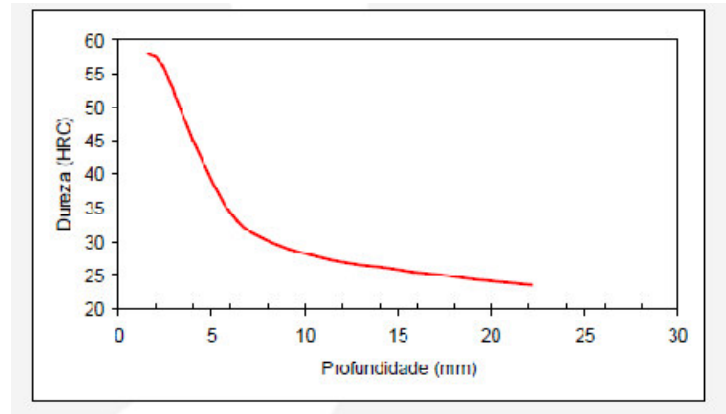


Figura 20 – Curva de Temperabilidade para aço não ligado
Fonte: GGD METALS, 2014.

Considerando que os materiais a serem usinados não estarão no estado tratado, e que a dureza destes será baixa (baseado num aço SAE 8640 que possui uma dureza relativamente alta em relação aos materiais mais comuns, até 37 HRC (GGD METALS, 2014)) podemos concluir que o material mais prejudicado ou que sofrerá desgaste maior será o material da peça e não do dispositivo e, contudo como a exposição da peça é curto intervalo de tempo teoricamente não haverá problemas.

3.6.2 Equacionamento e Dimensões Gerais

O dimensionamento do trabalho será baseado na força centrípeta, força de atrito, força da mola, força peso e força normal.

A Figura 21 a seguir ilustra um diagrama das forças consideradas no dimensionamento:

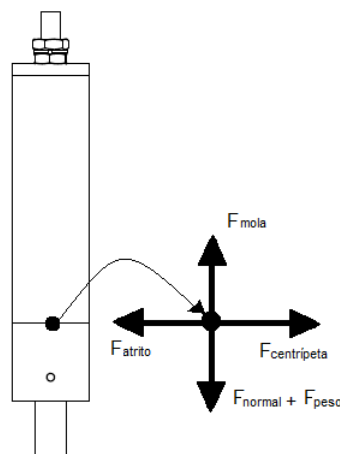


Figura 21- Forças consideradas no dimensionamento
Fonte: Autor,2014.

Para início de cálculo, a força centrípeta deve ser estudada sendo:

$$a_{cp} = \omega^2 * r = V^2/r$$

$$F_{cp} = m * a_{cp} = m * V^2/r$$

Também,

$$F_{cp} = m * \omega^2 * r$$

Onde:

“m” é a massa do corpo que sofre força centrípeta

“ ω ” é a velocidade angular em radianos por segundo

“r” é a excentricidade, ou o raio de deslocamento da massa em relação ao centro de rotação

A massa que se desloca do centro de giro é a ponta do dispositivo somada com o pino. Avaliando as dimensões dispostas nos desenhos do projeto, este valor foi aproximado para 45 gramas (considerando aço SAE 1045).

Para a velocidade angular estima-se uma velocidade máxima de 750 RPM (73,3 rad/s)

O raio de deslocamento é a excentricidade máxima entre as duas partes (corpo e ponta), que neste caso é aproximada para três milímetros.

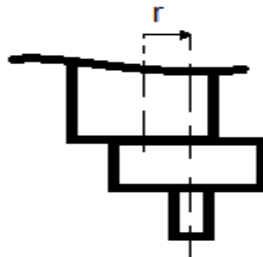


Figura 22 – Excentricidade
Fonte: Autor, 2014.

Sendo assim a força centrípeta é:

$$F_{cp} = 0,045 * 73,3^2 * 0,003 = 0,73 [N]$$

Para que a ponta permaneça concêntrica com o corpo, a força centrípeta não deve ultrapassar a força de atrito. Por definição temos que para o equilíbrio a força centrípeta é oposta a força de atrito e tem mesmo módulo. Contudo temos

$$F_{cp} = F_{at} = 0,73 [N]$$

E,

$$F_{at} = \mu_e * F_N$$

Onde F_N é a força normal, e μ_e é o coeficiente de atrito estático. Neste caso o coeficiente de atrito não é conhecido, entretanto é utilizado o valor de referência para aço doce disposta na **Figura 13**.

Contudo,

$$F_N = F_{at}/\mu_c = 0,73/0,74 = 0,99 [N]$$

Como a força normal é perpendicular a superfície de contato e neste caso oposta à força da mola, pode-se então encontrar as características da mola através do diagrama de forças da Figura 21.

$$F_{mola} = F_N + F_p$$

$$F_p = m * g = 0,045 * 9,81 = 0,44 [N]$$

$$F_{mola} = F_N + F_p = 0,99 + 0,44 = 1,43 [N]$$

Como se encontra disponível uma mola com constante de 165 [N/m] temos:

$$F_{mola} = K * x$$

$$x = F_{mola}/k = 1,43/165 = 0,00866 [m] = 8,66 [mm]$$

As dimensões gerais estão especificadas nos desenhos do projeto disposto nos apêndices deste trabalho.

3.6.3 Determinação da Mola

Neste caso pretendia-se montar o equacionamento e em seguida especificar a mola que atenderia as necessidades, porém devido à dificuldade de encontrar uma mola exatamente nas condições requeridas, ou ainda fabricar esta mola, foi decidido comprar uma que tivesse a geometria de acordo com o projeto e fornecesse uma constante de elasticidade linear, para que fosse possível regular a força da mola através do alongamento, pois:

$$F = K * x$$

Segundo a equação acima temos que a força da mola depende da constante e da extensão da mola, então como já se conhecia a força e a constante de rigidez, foi possível determinar a distensão da mola.

Este valor junto com o comprimento inicial da mola traz as dimensões do corpo do dispositivo.

A mola utilizada possui as seguintes características:

D_e [mm]	L [mm]	$L_{ext.}$ [mm]	d [mm]	K [N/m]
11,2	70	10	1,0	165

Quadro 1 – Dimensões da Mola

Fonte: Autor, 2014.

Onde,

D_e = Diâmetro externo

L= Comprimento inicial sem extremidades

$L_{ext.}$ = Comprimento das extremidades

d = Diâmetro do arame

K= Constante da mola

É importante lembrar que se caso a mola comprada não for revenida, ela pode trazer constante de rigidez não linear, variando seu valor conforme o alongamento, sem contar que ela pode estar sob tensão mesmo estando em repouso.

3.6.4 Definição dos processos de fabricação

O principal processo de fabricação utilizado será a usinagem convencional. Levando em conta o bom estado das máquinas existentes no laboratório pode-se dizer que elas atendem a necessidade, trazendo precisão na usinagem das peças.

Para a construção da ponta do dispositivo a operação mais indicada é o torneamento cilíndrico externo, onde se prende no torno por uma de suas extremidades um tarugo de aço e, faceia-se a outra iniciando a partir daí o torneamento cilíndrico. Depois de usinada a região externa, corta-se a peça na dimensão correta especificada no projeto. Feito isto, a peça deve ser virada e furada na região onde será alocada a mola. Esta ação deve ser realizada com uma broca um pouco menor que o diâmetro final do furo para que no final se possa fazer torneamento interno acertando assim o diâmetro correto especificado no desenho, lembrando que o início do furo deve ser feito com uma broca de centro. O furo para inserção do pino é feito na fresa.

O corpo do dispositivo utiliza-se torneamento cilíndrico externo, e furação seguida de torneamento interno, nunca se esquecer de fazer faceamento e furação de centro para que a peça fique mais próxima possível de seus limites de tolerância.

A fabricação da tampa é feita com torneamento externo e interno, de forma a obter a os rebaixos e ressaltos especificados no desenho. Ainda no torno se faz o furo onde passa o pino de ajuste.

O pino de ajuste é feito utilizando um parafuso sem cabeça ou que foi cortada a cabeça. Em seguida se aquece a extremidade sem rosca, e conforma-se (conformação a quente) até se obter uma superfície achatada para que seja possível furar formando o orifício que engata a mola.

Levando em conta o desgaste que pode haver nas peças do dispositivo e, que o material é um aço médio carbono SAE 1045, o tratamento de têmpera deve ser aplicado para endurecimento das superfícies que sofrerão fricção.

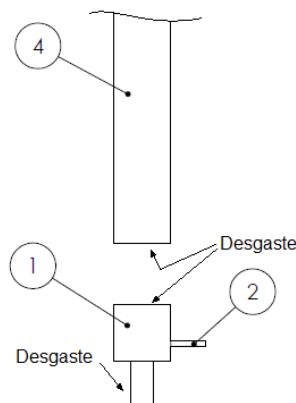


Figura 23 - Regiões de desgaste
Fonte: Autor, 2014

Avaliando as peças da posição 1 e 4 que vão sofrer desgaste, considerando critérios como a espessura e tamanho das peças conclui-se que o ideal é fazer têmpera superficial por chama na peça da posição 4, sendo assim tem-se uma menor variação dimensional devido à apenas uma parte da peça sofrer alteração na microestrutura e outra permanecer normal (“fria”) e conseqüentemente diminui o risco de empenamento. Os parâmetros para o tratamento são:

- Aquecer a região onde será endurecida com maçarico até se obter a cor vermelha.
- Em seguida resfriamento rápido em óleo, devido ao fato do óleo ofertar uma taxa de transferência de calor menor que a água e conseqüentemente diminuir empenamento na peça (a dureza final pode não ser tão elevada quanto o resfriamento em água).

- Após resfriada, revenir a 150 graus Celsius por um tempo de 2 horas para se obter uma dureza por volta de 52 Rockwell C (Gráfico do catálogo da GGD Metals).

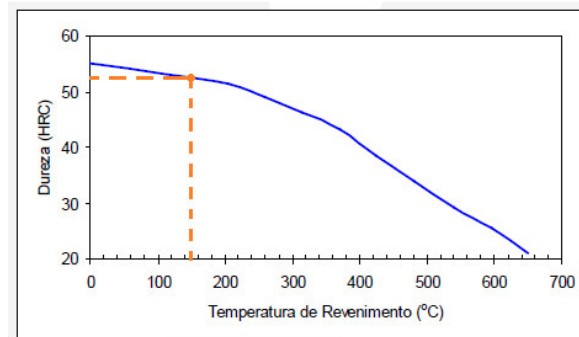


Figura 24 – Curva do revenido para o aço SAE 1045.
Fonte: Adaptado do catálogo GGD Metals.

Na peça da posição 1 é indicado tempera total com resfriamento em óleo devido a geometria da peça que mantêm bastante massa concentrada sendo assim não possui partes finas e compridas que aumentam as chances de empenamento durante o tratamento. Os parâmetros para a tempera total são:

- Aquecimento até a temperatura de 840 graus Celsius
- Manter a temperatura por 10 minutos
- Em seguida resfriamento em óleo.
- O revenido pode ser o mesmo para ambas as peças tratadas, seguindo o mesmo procedimento da peça anterior.

Nestas peças será desconsiderado a variação dimensional até porque acredita-se que será mínima devido ao tamanho das peças.

Depois de feito o tratamento as peças devem ser colocadas no torno novamente e lixadas até ficarem brilhosas a uma velocidade de aproximadamente 500 RPM. As lixas recomendadas para um acabamento relativamente bom são as lixas 400 e 600, sendo que estas devem ser utilizadas uma seguida da outra.

Na região onde existe contato e movimento entre as partes do dispositivo (partes que permanecem unidas pela mola) também precisam ser lixadas ou lapidadas.

3.7 PROTÓTIPO E TESTE

3.7.1 Protótipo

Com os desenhos em mãos e o material comprado finalmente foi possível a construção do dispositivo final. A Figura 25 a seguir mostra o dispositivo já montado.



Figura 25 – Dispositivo Localizador de Arestas
Fonte: Autor, 2014.

A tolerância possível encontrada na fabricação das partes do dispositivo utilizando os tornos convencionais foi de 0,05 milímetros nas regiões onde se pretendia ter 0,01 milímetros.

Depois que todas as peças concebidas, foi aplicado o tratamento térmico de tempera total na peça que forma a ponta do dispositivo (Figura 26) e revenido. A têmpera foi realizada a 840 graus por 10 minutos. Em seguida resfriada em óleo e então revenida por 2 horas a 150 graus Celsius.



Figura 26 – Ponta do dispositivo
Fonte: Autor, 2014.

Para a peça que forma o corpo do dispositivo foi decidido deixar sem tratamento, pois existiam grandes riscos de empenamento mesmo utilizando a têmpera superficial, sem contar nos riscos que o processo fornece como a fundição do material devido ao difícil controle da temperatura e conseqüentemente a perda da peça.

Contudo, a peça com tratamento foi endurecida com sucesso apresentando uma faixa entre 52 e 55 Rockwell C de dureza.

Para a determinação da dureza foi utilizado um durômetro da marca DIGIMESS com indentador de esfera de diamante, a escala utilizada foi a Rockwell C. Antes de realizar a primeira medida foram coletadas três medidas em um bloco padrão para que fosse possível a comprovação que o durômetro estava calibrado e, observou-se uma variação máxima de 1 Rockwell C abaixo da dureza do bloco padrão e nenhum valor acima deste.

Após comprovar que o durômetro estava calibrado foram realizados cinco testes de dureza sendo que o primeiro e o último foram desconsiderados com intuito de diminuir possíveis erros.

Os resultados das durezas foram:

Resultado das durezas					
Medida	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
Valores HRC	54	53,5	55	54	53,5

Quadro 2 – Resultado das Durezas

Fonte: Autor, 2014.

Conforme o referencial teórico do trabalho percebe-se que os valores de dureza estão coerentes com a realidade.

Depois de endurecido e para a finalização da construção, foi feito o lixamento no torno com as lixas 400 e 600 das superfícies das peças. Foi feito também um processo similar a lapidação na região de contato entre a ponta e o corpo do dispositivo, porém este utilizando uma lixa com água. É válido ressaltar que este lixamento com água não apenas se preocupou com o acabamento da superfície, mas também com a geometria da peça mantendo mais próximo possível da forma especificada nos desenhos do projeto (limites de tolerância).

3.7.2 Teste

Antes de iniciar o teste de perfuração das chapas foi analisado visualmente como estava se comportando o dispositivo quanto a velocidade de rotação. Começou-se com 500 RPM e com a tensão da mola especificada no projeto. Verificou-se que para esta velocidade o dispositivo ficava instável, necessitando o esticamento da mola para aumentar a tensão, pois quanto menor o coeficiente de atrito maior deve ser a força normal. Para isto foi ajustado com o pino de ajuste um alongamento na mola de 8 milímetros, só assim foi possível a utilização do dispositivo para uma velocidade máxima de 500 rotações por minuto.

Isso se deu devido ao desconhecimento do coeficiente de atrito presente na superfície de contato entre a ponta e o corpo do dispositivo. Nos cálculos foi utilizado apenas um valor de referência e que representava o coeficiente para superfícies usinadas e não polidas como é o caso em questão.

Para o teste do dispositivo foram feitos três corpos de prova construídos a partir de chapas (aço SAE 1020) de espessura 6,35 milímetros, as quais foram fresadas até as dimensões 80x40 milímetros. O teste então foi baseado na construção de 6 furos cada chapa a uma distância de 10 milímetros da borda localizada pelo dispositivo.

Para diminuição dos erros de precisão foi utilizado antes de cada furação uma broca de centro e em seguida uma broca nova de 8 milímetros de diâmetro.

A Figura 27 ilustra os corpos de prova depois de perfurados:

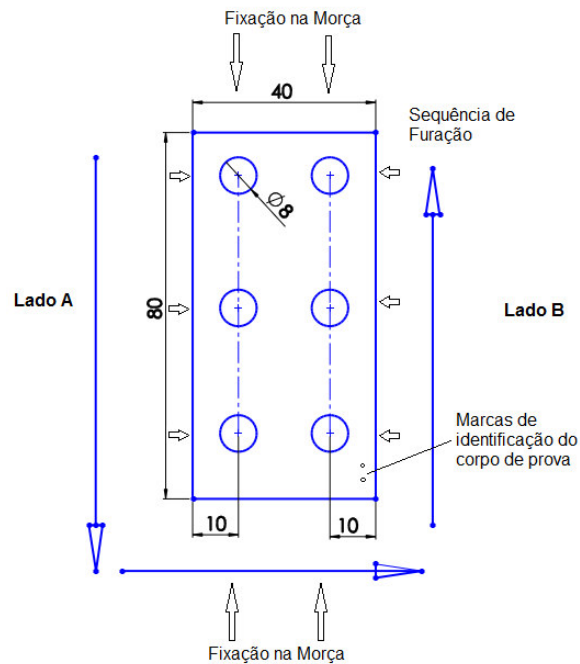


Figura 27 – Esboço do corpo de prova perfurado
Fonte: Autor, 2014.

Como ilustrado na Figura 27 a furação de teste consistiu na fixação de cada corpo de prova na morça da fresadora que em seguida foram submetidos a 6 furções cada um, sendo 3 de cada lado das bordas. É importante ressaltar que a furação foi feita sempre respeitando uma mesma sequência e sem que houvesse o desprendimento das chapas durante a furação.

A escolha da utilização de 3 corpos de prova foi para que houvesse a possibilidade de variação da velocidade de rotação e assim tentar observar o que acontece com a precisão do dispositivo.

Depois realizado os testes foi medido a borda dos furos em relação a borda da chapa fazendo o uso de um paquímetro com divisões mínimas de 0,05 milímetros.

Os resultados foram os seguintes:

Tabela 3 – Resultados das medidas

Corpo de Prova 1 [470 RPM]		Corpo de Prova 2 [500 RPM]		Corpo de Prova 3 [435 RPM]	
Lado A [mm]	Lado B [mm]	Lado A [mm]	Lado B [mm]	Lado A [mm]	Lado B [mm]
6,20	5,90	6,25	6,00	6,35	5,90
6,25	5,90	6,20	6,00	6,20	5,75
6,20	5,90	6,20	6,00	6,25	5,80

Fonte: Autor, 2014.

Os valores dos lados A e B foram dispostos separados devido ao fato de que os corpos de prova não foram removidos durante a furação e que as arestas dos lados A e B são independentes uma da outra, entretanto houve a inversão da direção de movimentação da mesa da fresadora na hora de posicionar o eixo da ferramenta com a posição onde seria construído os furos do lado A e lado B. Devido esta inversão houve a necessidade de analisar os resultados separadamente, devido a existência de folgas na máquina e, que essas folgas se apresentaram diferentes ao longo da posição de onde se encontra a mesa e também ao sentido de movimentação.

Observando os resultados podemos notar que os valores na maioria das situações se mantiveram bastantes próximos para cada condição.

Segundo LIMA, 2012 exatidão e precisão são critérios diferentes, a exatidão refere-se ao grau de concordância de uma medida com o seu valor alvo, já a precisão refere-se ao grau de dispersão da medida quando repetida sob as mesmas condições.

Para LIMA, 2012 a analogia do tiro ao alvo ajuda a explicar melhor a situação. Para isso averigua-se as seguintes condições:

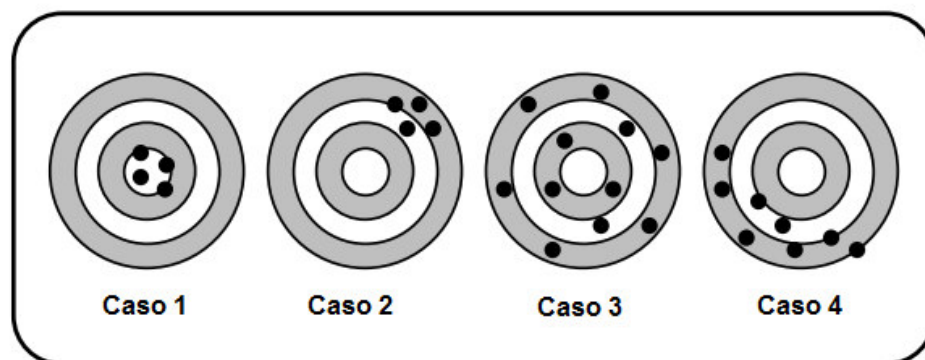


Figura 28 – Analogia do tiro ao alvo
Fonte: Adaptado de Lima, 2012.

Nos casos 1 e 2, os tiros estão menos dispersos que nos casos 3 e 4. Nos casos 1 e 3 é possível perceber que os tiros estão distribuídos em torno do centro enquanto, nos casos 2 e 4, a distribuição de tiros está descentralizada.

Nessa analogia, isso quer dizer que, nos casos 1 e 2, há mais precisão. Ou seja, quando a medição foi repetida sob as mesmas condições, ela produziu resultados semelhantes (menos dispersos). Nos casos 1 e 3, há mais exatidão porque as medidas estão distribuídas em torno do centro do alvo (LIMA, 2012).

Ainda nesta analogia podemos comparar os dados da tabela 3 onde nota-se uma elevada repetibilidade entre os valores. Contudo neste caso o valor alvo é 6 milímetros, sendo assim podemos dizer que o dispositivo possui mais precisão ou repetibilidade do que exatidão, pois os valores deram mais próximos entre si do que do valor alvo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o teste executado não foi possível determinar qual a precisão que o dispositivo construído fornecia devido à falta de precisão da máquina fresadora utilizada. Contudo podemos afirmar observando os dados que o dispositivo possui repetibilidade, pois para as mesmas condições de teste os valores se mantiveram sempre próximos.

Quanto ao desenvolvimento deste localizador, pode-se perceber que o conhecimento do coeficiente de atrito utilizado nos cálculos é bastante importante para a determinação correta da tensão na mola e que neste caso não foi possível tal conhecimento devido à falta de uma bancada própria. Ao longo do teste foi possível perceber que a vibração da máquina influencia no funcionamento do dispositivo e é critério que contribui para que a tensão na mola seja aumentada.

A mola utilizada se comportou relativamente bem, contudo o desenvolvimento de uma mola mais rígida com características de forma semelhantes à utilizada neste trabalho seria interessante, pois durante os testes foi necessário aumentar a tensão para que o dispositivo se comportasse melhor e o alongamento gerado foi um tanto elevado para o tamanho da mola utilizada apesar de ainda ser conveniente para uma velocidade mais baixa (470 RPM).

A dureza encontrada durante com o tratamento térmico foi coerente com a realidade e se mostrou útil e necessária, pois durante o teste já foi possível notar de forma sensível que existe certo desgaste na ponta do dispositivo mais precisamente na região que entra em contato com a aresta que se deseja localizar.

A fabricação do dispositivo requer certo conhecimento em processos de fabricação principalmente em usinagem e tratamento térmico, caso contrário o dispositivo pode perder parte de sua precisão apresentando mau funcionamento.

Avaliando os resultados nota-se que os menores desvios se apresentaram entre as rotações de 470 e 500 RPM sendo que em ambos os casos o dispositivo estava com a mola o máximo possível estirada (8 milímetros acima da posição de projeto é o alongamento máximo possível com o pino de regulagem), sendo assim esta faixa de rotação a mais adequada para as condições oferecida pela fresadora em questão.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Heraldo J.; **Estudo da Relação entre Velocidade de Corte, Desgaste de Ferramenta, Rugosidade e Forças de Usinagem em Torneamento com Ferramenta de Metal Duro: USINABILIDADE.** 2002. 131 folhas. Dissertação – UFRGS, Porto Alegre, 2002.

BRIDGEPORT; **Operation and maintenance manual:** including spare parts catalogue, (1994).

COMERCIAL CELMAR, 2013. . Disponível em:< [http://www.celmar.com.br/produto/Localizador %20de%20Arestas%2094546-10](http://www.celmar.com.br/produto/Localizador%20de%20Arestas%2094546-10)>. Acesso em: 01 fev. 2014.

CHIAVERINI, Vicente; **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas.** São Paulo, 2ª ed., volume único, editora Tec Art Editora Ltda, 2008.

CUNHA, Daniel F.; **Influencia do Teor de Silício na Usinabilidade da Liga de Alumínio 6351 – Avaliada Através de Força de Corte e Acabamento Superficial.** 2012. 100 folhas. Dissertação – UFU, Uberlândia- MG, 2012.

FERREIRA, JOÃO CARLOS E. Prof. Ph.D. **Precisão e Erros de Usinagem.** UFSC, Dep. Eng. Mecânica. Apostila de planejamento de processo - CAPP, Cap. 2 e 3; 2012. Disponível em:<<http://www.grima.ufsc.br/capp/apostila/>>. Acesso em: 02 fev. 2014.

UFSM; **Força Centrífuga:** MCU, Portal Grupo de Ensino de Física da Universidade Federal de Santa Maria – RS, 17/06/2011. Disponível em:< <http://coral.ufsm.br/gef/mcu.htm> >. Acesso em: 02 fev. 2014.

GGD METALS, 2014. Catalogo e site. Disponível em:< <http://www.ggdmetals.com.br/aco-construcao-mecanica/sae-1045/>>. Acesso em: 13 mai. 2014.

GERDAU DO BRASIL, 2014. Disponível em: < https://www.comercialgerdau.com.br/produtos/acos_especiais_aocarbono.asp >. Acesso em: 13 mai. 2014.

HALLIDAY, D., RESNICK,R., WALKER, J., **Fundamentos de física:** Mecânica. 7ª edição, vol. 1, editora LTC, 2006.

LIMA, Junior. **Fundamentos de Metrologia,** O laboratório de mecânica. Porto Alegre: IF-UFRGS, 2012. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/fis1258/index_arquivos/TXT_01.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2014.

MACHADO, A.R.; ABRÃO, A.M.; COELHO, R.T. & DA SILVA, M.B. Teoria da usinagem dos materiais. Edgard Blucher, São Paulo, 2009. 371p.

MARTINS, Marco Antonio C. Prof.; **Controle Geométrico**. Florianópolis- SC; LAB METRO - UFSC, Dep. Eng. Mecânica. Apostila de Metrologia, ago. 2002. Disponível em:< http://www.demec.ufmg.br/meinhard/Documentos/APOSTILA_PARTE_II.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2014.

MACHINIST'S TIPS, Sherline. Making an inexpensive edge finder, Sherline Products Inc: 2002. Disponível em: < <http://www.sherline.com/tip29.htm> >. Acesso em: 10 fev. 2014.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. Tradução João Batista de Aguiar, ... [et al.]. - 2. ed. - Porto Alegre: Bookman, 2004.931 p.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**: uma abordagem integrada. Tradução Konstantinos Dimitriou S. e Joao B. Aguiar e Renato Machnievscz cap. 8 e 16. Cap. 7, p. 423 à 434. 4ª. ed.- Porto Alegre: Bookman, 2013.1028 p.

ROSA, Luiz Carlos Prof. Ph.D. **Fresadora e o Processo de Fresamento**. Sorocaba/Iperó; UNESP, Engenharia de Controle e Automação, Oficina Mecânica para Automação, 2010. Disponível em:< http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/luizrosa/index_arquivos/OMA%20P2%20Fresamento.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2014.

STARRETT®, Ferramentas de precisão; **Localizador de Arestas e de Centro Série 827**, 2011. Disponível em:<<http://www.starrett.com.br/produtos/produtodetalhe.asp?codprod=355>>. Acesso em: 01 fev. 2014.

STEVE. **MILLING TOOLS**, Edge Finder: Cost \$0, 2013. Disponível em:< <http://home.iprimus.com.au/stevor/millingtools1.htm> >. Acesso em: 28 mai. 2014.

TELECURSO 2000; **Processos de Fabricação**: aula 59; 2000. Disponível em < <http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/59proc3.pdf>>.

Acesso

APÊNDICES

ANEXOS