

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO
DE MOLAS HELICOIDAIS**

Trabalho de Graduação apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Graduando: Adriano Carvalho de Freitas
Orientador: Prof. Marco Stipkovic Filho
Coordenador: Prof. Edson Gomes

 *Aprovado*

São Paulo
1997

Este trabalho é dedicado
aos meus pais, pelo incentivo e investimento
à Priscilla, pelo apoio e dedicação
a Deus, por tudo.

SUMÁRIO

RESUMO

I. MOLAS - INTRODUÇÃO	2
II. MATERIAIS PARA MOLAS	3
III. TIPOS DE MOLAS E APLICAÇÕES	4
III.1. Molas Helicoidais de Compressão ou Tração	4
III.2. Molas Helicoidais de Torção:	5
III.3. Molas de Barras	6
III.4. Molas Espirais	6
III.5. Molas Prato ou Belleville	7
IV. FABRICAÇÃO DE MOLAS HELICOIDAIS	8
V. ESTUDO DA NECESSIDADE	13
VI. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO AUTOMÁTICA	16
VII. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS E GERAÇÃO DE SOLUÇÕES	24
VII.1. Presença do auxiliar girando o carretel da bobina	24
VII.2. Troca dos Roletes de Tracionamento e das Guias	27
VII.3. Regulagem do posicionamento do corte	28
VII.4. Regulagem do comprimento da mola	31
VII.5. Regulagem do diâmetro externo da mola	32
VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESTUDO DE VIABILIDADE	34
IX. INTRODUÇÃO AO PROJETO BÁSICO	35
X. PROJETO BÁSICO	41
X.1. Desbobinadeira automática	41
X.2. Troca dos roletes de tracionamento	43
X.3. Regulagem do Comprimento da Mola	45
X.4. Regulagem do Diâmetro Externo da Mola	52
X.4.1. Introdução	52
X.4.2. Cálculo do esforço suportado pelo parafuso	52
X.4.3. Dimensionamento do par Parafuso - Rosca Interna	53
X.4.4. Esforços de acionamento	56
X.4.5. Relação entre o Deslocamento Axial da Porca e a Rotação da Manopla	57
X.4.6. Cálculo das Engrenagens	57
X.5. Regulagem da Aresta de Corte	59
XI. ANÁLISE ECONÔMICA	63
XII. BIBLIOGRAFIA	65

RESUMO

No presente trabalho procurou-se estudar o problema de fabricação de molas helicoidais, particularmente na fábrica Brasilmol Ind. de Molas Ltda. O trabalho se concentrou em otimizar a fabricação através de uma máquina automática, um equipamento não utilizado em sua totalidade devido à concorrência de custos da fabricação manual para pequenos lotes.

Para isso, estudou-se os principais fatos que prejudicavam a produção, tornando-a mais custosa, principalmente o processo de set up da máquina, buscando alternativas que tornassem o processo mais econômico.

Dada a importância do elemento de máquina denominado MOLA, procurou-se dar uma introdução ao assunto, relatando suas principais funções, os materiais mais comumente usados e os principais tipos construtivos. A seguir, descreveu-se os modos principais de fabricação de molas, desde os mais artesanais até os mais avançados, como as máquinas CNC.

Analisando o processo, foram sugeridas diversas alternativas, sendo escolhidas as melhores para um estudo mais aprofundado, dimensionamento e implementação.

Ao final do trabalho, foi feita uma rápida análise econômica, justificando as mudanças implementadas.

I. MOLAS - INTRODUÇÃO

Denomina-se '*MOLA*' o elemento de máquina que tem por função principal, sob a ação de um carregamento, sofrer deformações e recuperar sua forma original no instante da retirada do carregamento, sinteticamente falando: sua função é a de sofrer deformações elásticas.

Apesar de alguns corpos sofrerem deformações elásticas, eles não são considerados molas pois não possuem como função primordial esta, pelo contrário, devem manter sua rigidez durante a solicitação. Um exemplo disso é uma viga estrutural de aço que se deforma ligeiramente quando um peso é colocado sobre ela.

As molas são usadas em máquinas para exercerem diversas funções. Entre elas:

- **Atuar com uma força ou torque.** É o caso da mola de uma válvula de motor de automóvel, que deve forçar a válvula contra o camo. Ou de uma mola de relógio que atua vencendo o atrito necessário para o mecanismo de funcionamento.
- **Prover flexibilidade.** Em alguns casos, um mecanismo deve ter flexibilidade para executar sua função, retornando a sua posição inicial em seguida. Um exemplo simples é o botão de um elevador que deve retornar após o acionar da chamada do elevador ou as molas usadas nas mangueiras das bombas de combustível em postos de gasolina.
- **Armazenar ou absorver energia.** Semelhante à função acima, havendo diferença nas grandezas de forças e energias envolvidas. Nesse caso, estamos mais preocupados com absorção de choques, como na suspensão de um automóvel, ou num isolador de vibração de uma máquina (aqui usadas acompanhadas de um outro elemento que irá prover o amortecimento).

II. MATERIAIS PARA MOLAS

Quanto aos materiais empregados em sua fabricação, estes devem possuir boas propriedades elásticas, principalmente Resiliência, logo costuma-se empregar: aço, latão, cobre, bronze, ligas de níquel, borrachas e polímeros. O presente trabalho focalizará os materiais ferrosos. A tabela abaixo mostra os aços mais comuns empregados na fabricação de molas:

Nome Comercial	Nome Normalizado	Descrição
Arame Corda de Piano	ASTM A228-51 AISI 1085 ABNT 1085	É o melhor, mais tenaz e mais usado dos aços para mola. Tem alta resistência à tração e à fadiga. Disponível em ϕ 0.12 a 3mm.
Arame Temperado a óleo	ASTM A227-47 AISI 1065 ABNT 1065	É um material para uso geral. Utilizado quando o custo do arame corda de piano é demasiado ou para diâmetros maiores (ϕ 3 a 12mm).
Arame Estirado a frio	ASTM A227-47 AISI 1066 ABNT 1066	Também de uso geral, é utilizado quando precisão, vida e deflexões são fatores menos importantes do que custo. Disponível em ϕ 0.8 a 12mm
Cromo Vanádio	ASTM 231-41 AISI 6150 ABNT 6150	É a liga mais popular utilizada para fabricação de molas. Usada quando se necessita de resistência a altos valores de tensão e para altas temperaturas. Disponível em ϕ 0.8 a 12mm.
Cromo Silício	AISI 9254 ABNT 9254	Esta liga tem excelentes propriedades de resistência à fadiga e choques. Possui dureza de até 53 Rockwell C. Disponível em ϕ 0.8 a 12mm.

fonte: Harold C.R. Carlson, "Selection and Application of Spring Materials", *Mech. Eng.*, vol. 78, 1956.

Os aços liga possuem melhores características de temperabilidade, comparando-se com os aços carbono, razão esta que são utilizados quando a mola é de grandes dimensões.

Para ambientes corrosivos, utiliza-se ligas de Monel (33% Cu - 67%Ni), ou mais comumente, aços inoxidáveis como o AISI 302 ou 304.

III. TIPOS DE MOLAS E APLICAÇÕES

É grande a variedade de formas e tipos de molas, entretanto, pode-se dividi-las em 5 grupos principais:

III.1. Molas Helicoidais de Compressão ou Tração

É o grupo mais comum nas aplicações, são fabricadas com arames de seção circular, quadrada ou retangular que são enrolados em forma helicoidal. Podem ser cilíndricas ou cônicas, dependendo da aplicação, conforme se vê na figura III.1.a. Também há a variação de se enrolar o arame em dois sentidos: direito ou esquerdo.

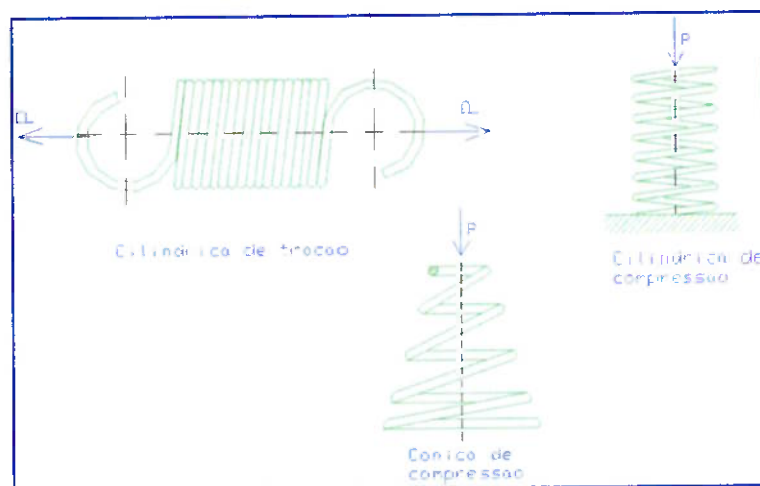


fig. III.1.a

O carregamento é feito ao longo do eixo da hélice, tanto no caso de tração, com a ajuda de ganchos ou outros artificios, como no caso de compressão. Em sua fabricação, para diâmetros pequenos (até 12mm), a mola é enrolada a frio, sendo submetida a tratamento de normalização após a conformação. Já para diâmetros maiores, se faz necessário o enrolamento a quente, com têmpera, revenido e normalização subseqüentes.

Nesse tipo de mola, a solicitação que prevalece no material é a torção, sendo seu dimensionamento feito em função desse tipo de esforço.

Dentre suas aplicações, podemos citar para as de compressão, desde a mola de pequeno tamanho existente no interior de uma lapiseira, até a mola de segurança no fundo de um poço de elevador. Para as de tração, as molas de um dinamômetro manual ou as de retorno para uma alavanca de um mecanismo.

III.2. Molas Helicoidais de Torção:

De forma construtiva semelhante às molas de compressão e tração, diferem-se pelo carregamento que lhes é imposto, aqui consistindo de um torque perpendicular ao eixo, aplicado na extremidade da hélice. Devem possuir extremidades com formas especiais para garantir a aplicação do torque.

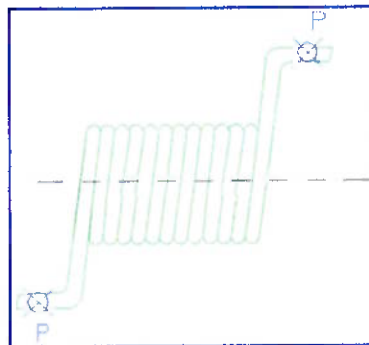


fig.III.2.a

O material sofre esforço de flexão, apesar do carregamento no conjunto ser um momento torçor. Como aplicações para esse tipo de construção, podemos enumerar a mola de um pregador de roupa ou as molas existentes nas dobradiças de porta do tipo “Saloon”.

III.3. Molas de Barras

São constituídas de barras em forma de fitas, de seção transversal retangular, que podem ser de forma triangular, trapezoidal ou retangular, que sofrem a ação de forças que tendem a fletir o componente.

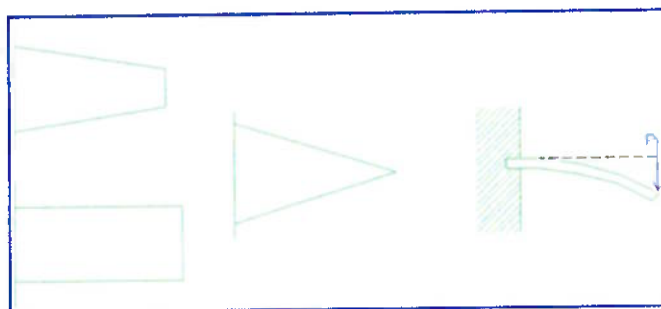


fig.III.3.a

Dentre suas aplicações, estão as molas de lâminas usadas em suspensões de automóveis e caminhões, onde várias barras são unidas por grampos para que o conjunto tenha grande resiliência.

III.4. Molas Espirais

Formadas por tiras enroladas em forma de espiral. Sofrendo a ação de um momento na direção normal ao plano da espiral, o material fica sujeito a esforços de flexão. Molas de relógio são desse tipo.



fig.III.4.a

III.5. Molas Prato ou Belleville

São basicamente discos cônicos, usados normalmente empilhados aos pares, permitindo variar-se a rigidez e a capacidade de carga com a mudança do número de pares usados. Seu principal uso se dá quando o espaço disponível é restrito, exigindo esse tipo de construção.

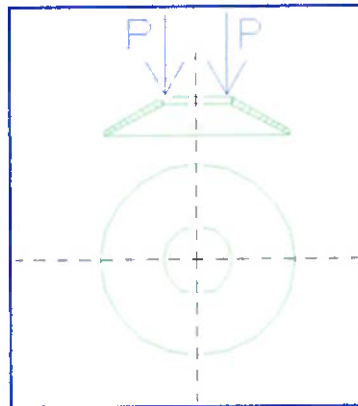


fig. III.5.a

IV. FABRICAÇÃO DE MOLAS HELICOIDAIS

Dentre todos os tipos de molas existentes, conforme classificação dada no capítulo anterior, este trabalho dará ênfase às molas helicoidais de tração e compressão, por se tratarem das mais comumente utilizadas.

As principais grandezas variáveis em uma mola helicoidais são:

- diâmetro do arame;
- diâmetro externo;
- diâmetro interno;
- número de espiras (totais ou úteis);
- passo;
- comprimento da mola.

Algumas dessas grandezas são dependentes entre si, sua determinação depende do dimensionamento e da aplicação da mola. Além delas, ainda existem detalhes construtivos, como o tipo de acabamento das extremidades (planas, esmerilhadas, outras), forma (cilíndricas, cônicas ou bicônicas), formato do gancho (nas de tração).

O modo mais artesanal para a fabricação desse tipo de mola é totalmente manual. É utilizado apenas para diâmetros pequenos (até ~1.0 mm) e pequena quantidade (por exemplo, molas para manutenção, feitas por encomenda). Consiste em acoplar um eixo, de diâmetro igual ou um pouco menor ao diâmetro externo da mola, a uma furadeira manual, fixar uma das pontas do arame em uma *unha* soldada nesse eixo e girar o eixo, arrastando o arame pelo eixo com a ajuda de uma garra, formando a hélice com o comprimento e o passo desejado. O dispositivo permite a utilização de duas rotações com a fixação da manopla num segundo eixo, de redução diferente. Além dessa furadeira, um dispositivo formado por um eixo, com mandril e manivela também é usado, permitindo pela forma, enrolar diâmetros maiores (até 2.5mm). A figura abaixo ilustra melhor as duas variações do processo.

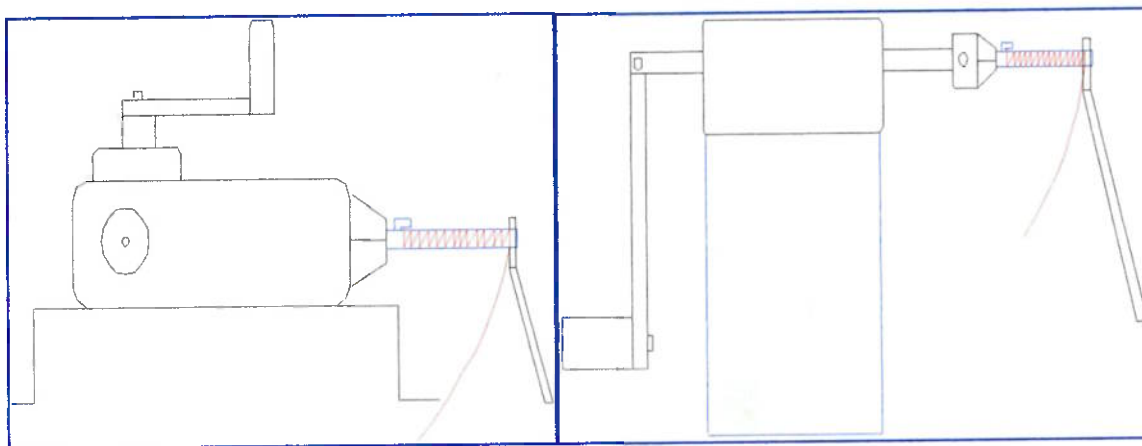


fig. IV.a

fig. IV.b

Esse modo tem como vantagem, o custo baixo para pequenos lotes, pois não necessita de muito preparo do equipamento, apenas a escolha do eixo com diâmetro adequado ao diâmetro externo da mola e a escolha da garra mais apropriada. O custo do equipamento é baixíssimo, uma vez que é uma simples ferramenta adaptada. As desvantagens são:

- Precisão do processo: na quase totalidade das molas, é necessário fazer correções dimensionais no comprimento e passo, com o auxílio de pequenos martelos.
- Habilidade requerida: por se tratar de um processo quase que artesanal, é preciso que o operário tenha uma certa experiência e habilidade para realizá-lo.
- Não é aplicável para lotes grandes: o tempo de fabricação é grande, além do tempo gasto na correção dimensional, encarecendo o processo.

Um outro modo de fabricação para molas em quantidades pequenas, porém para diâmetros maiores, é uma variação do anterior. Aqui, ao invés da furadeira manual, têm-se um motor girando um eixo, podendo-se utilizar até mesmo diferentes velocidades de rotação com o uso de um câmbio ou vários tamanhos de polias. Com esse método, pode-se enrolar arames de até 12mm, nesses casos chega-se a utilizar até duas pessoas para segurar a garra, tamanho é o esforço necessário para a conformação. O processo pode ser visualizado na figura a seguir. Para diâmetros maiores, as molas são enroladas a quente, de maneira similar, porém com a utilização de outros dispositivos auxiliares.

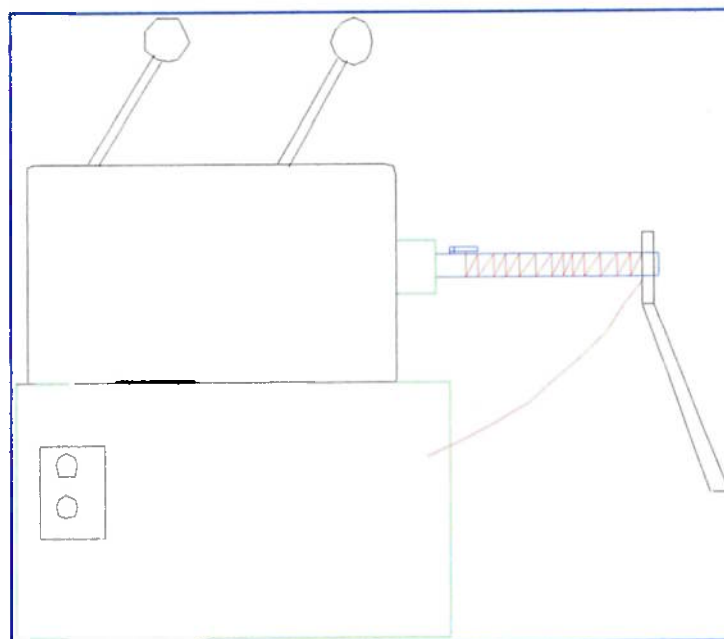


fig. IV.c

Semelhantemente ao processo anterior, esse método é viável para pequenos lotes pela facilidade no preparo do equipamento. Tendo em vista os diâmetros enrolados, vê-se que sua fabricação por outros meios seria também muito onerosa. Apresenta as mesmas desvantagens que o modo de fabricação anteriormente apresentado.

Para a fabricação dos ganchos ou extremidades especiais das molas de tração, pode-se dobrar a última espira de cada lado, ou costuma-se deixar um comprimento de sobra de arame para a fabricação do gancho, ou ainda há a possibilidade de se utilizar chapas fixas nas espiras, ou ganchos presos dentro do corpo da mola, com as extremidades da hélice de forma cônica.

Quando a quantidade a ser fabricada é maior, para produtos seriados, a utilização dos dispositivos manuais não é mais econômica. Nesses casos, a produção das molas se faz em máquinas chamadas *fabricadoras automáticas universais*.

Através da regulação das variáveis principais, pode-se conseguir um número considerável de molas por minuto, valor este que dependerá do comprimento da mola, do

diâmetro do arame, etc. Um exemplo desse tipo de equipamento pode ser visto na figura a seguir:

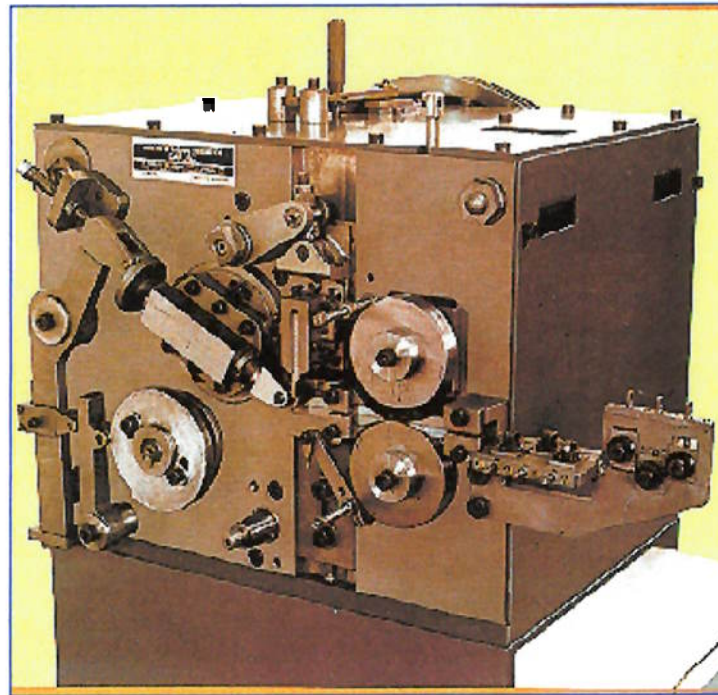


fig. VI.d

A principal vantagem desse método é o custo de fabricação para lotes grandes devido à rapidez do processo de enrolamento. Não é viável a fabricação para pequenas quantidades pois o tempo de preparação da máquina, conhecido no meio industrial como tempo de *set up*, é muito grande, podendo chegar, citando como exemplo uma mola cônica e esquerda, a 3 horas. Porém, uma vez preparada, a máquina produz grandes quantidades em pouco tempo, com boa qualidade, não necessitando de correções dimensionais para todas as peças.

Finalmente, o modo mais moderno que se utiliza na atualidade, é a fabricação através das máquinas de comando numérico. Este equipamento é uma otimização das máquinas automáticas, complementando estas com o uso da programação de todas as variáveis. Todos os passos da fabricação são implementados em linguagem própria,

descartando os muitos passos da preparação da máquina necessários nas *fabricadoras automáticas*, reduzindo drasticamente o tempo de *set up*.

Além disso, não existe apenas a ferramenta de corte no cabeçote, existem múltiplas ferramentas para já processar os ganchos nas molas de tração (nas mais diversas formas), extremidades especiais nas molas de torção, enfim, todos os processos posteriores que devem ser feitos na fabricação de molas nas máquinas apresentadas no parágrafo anterior. Porém, a principal desvantagem desse equipamento é o preço, ainda elevado, comparando-se os dois tipos de equipamento, sendo recomendada apenas para os casos de grande produção seriada, que acabaria por pagar o investimento feito e ainda resultar em lucro por alguns anos.

Um exemplo desse equipamento, com cabeçote simples, pode ser visto a seguir:

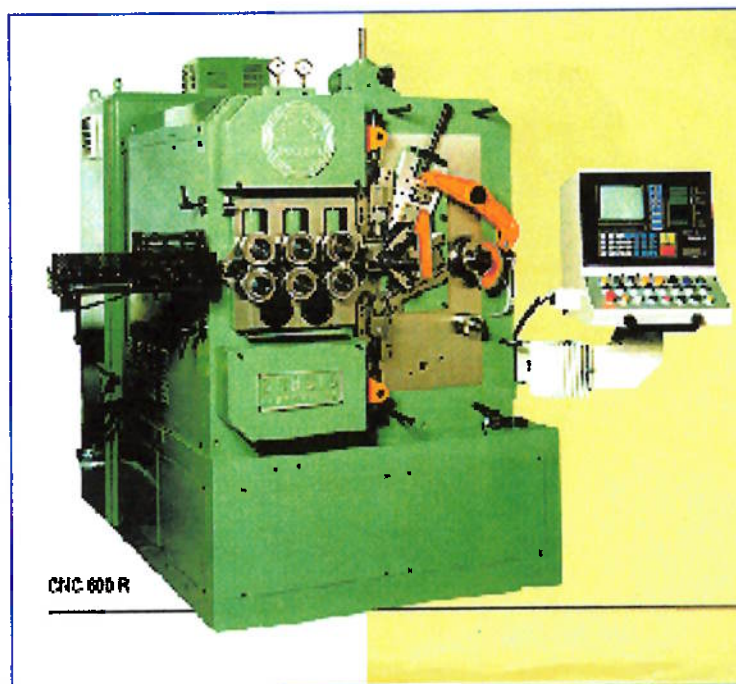


fig. IV.e

V. ESTUDO DA NECESSIDADE

A empresa Brasilmol Ind. de Molas Ltda. possui vários dispositivos para a fabricação manual (tanto do tipo furadeira adaptada, como uma caixa de redução para diâmetros maiores). Também possui três máquinas fabricadoras universais:

- Uma *CARJAC* modelo MMC 1 , com motor de potência 3 CV, capaz de enrolar arames de ϕ 1.0 a 3.0mm.
- Uma *CARJAC* modelo MMC 2 , com motor de potência 5 CV, capaz de enrolar arames de ϕ 2.0 a 4.5mm.
- Uma *Eduardo Gross*, com motor de potência 1.5 CV, capaz de enrolar arames de ϕ 0.1 a 1.2mm, de produção rápida, devido à forma construtiva, aos diâmetros envolvidos e ao tipo de aplicação.

A grande maioria das molas comercializadas pela empresa é fabricada pelos processo manuais. Esse processo é o mais utilizado pois a empresa produz molas sob encomenda e raras são as encomendas para lotes grandes. Os custos envolvidos na fabricação de pouca quantidade pelas máquinas automáticas não compensam comparados aos métodos manuais. Como exemplo, veremos o caso de um produto fabricado no dia 29/04/97:

CARACTERÍSTICA DA MOLA:

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| • ϕ externo: 42mm | • espiras totais: 12 |
| • arame: 3.2mm | • sentido de enrolamento: esquerdo |
| • comprimento: 140mm | • material: ABNT 1070 |

QUANTIDADE : 100 PEÇAS

(Valores em Reais)

FABRICAÇÃO MANUAL:

	Qte	Custo	Custo total	Custo unit.
Matéria Prima utilizada	10 kg	\$3 / kg	\$ 30	\$0,30
Mat. Prim desperdiçada	irrisória	-	-	-
Processo de Enrolar	2 h	\$ 10 / h	\$ 20	\$ 0,20
Processo de Retificar	2 h	\$ 5 / h	\$ 10	\$ 0,10
Ajuste dimensional	1 h	\$ 10 / h	\$ 10	\$ 0,10
Tratamento Térmico	2 h	\$ 7,5 / h	\$ 15	\$ 0,15
Lubrificação e Embalo	-	-	\$ 10	\$ 0,10
Administ. + impostos	-	-	\$ 100	\$ 1,00

TOTAL: R\$1,95

FABRICAÇÃO AUTOMÁTICA:

	Qte	Custo	Custo total	Custo unit.
Matéria Prima utilizada	10 kg	\$3 / kg	\$ 30	\$0,30
Mat. Prim desperdiçada	1 kg	\$3 / kg	\$ 3	\$0,03
Preparação da Máquina	2,5 h	\$ 10 / h	\$ 25	\$ 0,25
Processo de Enrolar	15 min	\$ 10 / h	\$ 2,50	\$ 0,025
Aux. p/ preparar e enrolar	2h 45min	\$ 5 / h	\$ 13,75	\$ 0,137
Processo de Retificar	2 h	\$ 5 / h	\$ 10	\$ 0,10
Ajuste dimensional	0,5 h	\$ 10 / h	\$ 5	\$ 0,05
Tratamento Térmico	2 h	\$ 7,5 / h	\$ 15	\$ 0,15
Lubrificação e Embalo	-	-	\$ 10	\$ 0,10
Administ. + impostos	-	-	\$ 100	\$ 1,00

TOTAL: R\$2,14

Além de mais caro, o processo automático mobiliza 2 pessoas, sendo que essa segunda pessoa poderia estar em outra operação, atendendo um outro pedido, ao invés de ser somente um ajudante nesse processo. Conclui-se que para essas 100 peças, a vantagem cai toda sobre a fabricação manual. A experiência da empresa já os leva a optar direto pela modo manual, sem a necessidade de levantamento de dados de custos, como foi feito acima.

As principais variáveis que determinaram, para esse caso fabricado, o custo mais alto na máquina automática foram duas: o grande tempo de *set up* (que além das

regulagens normais, requeria a inversão do sentido do enrolamento de direito para esquerdo), e a presença constante do auxiliar (que ajuda em desmontagens, no transporte da bobina do arame e no desenrolar do carretel durante o processo).

O tempo necessário para enrolar o arame na máquina é 8 vezes menor (15 minutos contra 2 horas). Logo, se as variáveis que resultam em desvantagem do processo automático forem diminuídas, o processo será economicamente viável para lotes menores, além de se fazer uma utilização mais racional do equipamento já adquirido e da mão de obra disponível.

Esse é o principal objetivo do trabalho: o estudo do processo de fabricação automática de molas helicoidais e a proposição de alternativas para os pontos que forem considerados como prejudiciais ao processo por demandarem um tempo desnecessário e impedirem a fabricação econômica de lotes pequenos.

VI. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO AUTOMÁTICA

A seguir, serão detalhados todos os passos da fabricação de molas na empresa Brasilmol. A partir dessa descrição, serão observados os pontos críticos, que deverão sofrer mudanças para agilizar, e, assim, melhorar o processo.

Somente a máquina MMC 1 será analisada, visto ser a mais utilizada pela empresa. Apesar da aparência desgastada, seus elementos principais (engrenagens, rolamentos, engate dentado, roletes, etc) foram substituídos recentemente, assegurando o perfeito funcionamento do equipamento por, pelo menos, mais 10 anos.

A descrição será feita com base na fabricação de uma mola de tração, no dia 06/05/97. Os dados da mola são: diâmetro externo de 15mm , arame de 2mm, com 18 espiras totais. As extremidades, seriam formadas pela dobra da última espira, formando um gancho. Essa operação de dobra e o tratamento térmico não serão descritos, devido à ênfase desejada somente no processo de *set up* da máquina automática e na fabricação das molas.

O primeiro passo, é a troca da bobina de arame do carretel alimentador. Deve-se retirar a bobina antiga, procurar no estoque o diâmetro requerido e colocar a nova bobina no carretel. Essa operação é feita por um ajudante, o mesmo que ficará desenrolando o carretel durante a fabricação.

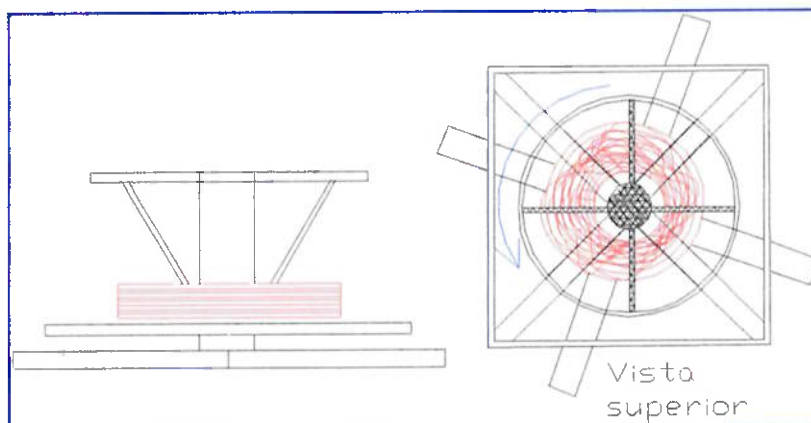


fig. VI.2 - Representação do carretel alimentador.

Enquanto isso, o técnico começa a desmontagem das guias e dos roletes que tracionam o arame. A operação é feita retirando-se os parafusos Allen de fixação. Também é necessário afrouxar os encostos que exercem pressão nos roletes para evitar que o arame escorregue durante o tracionamento. A seguir, já é possível retirar todas as guias e os roletes, além do resto de arame da fabricação da mola

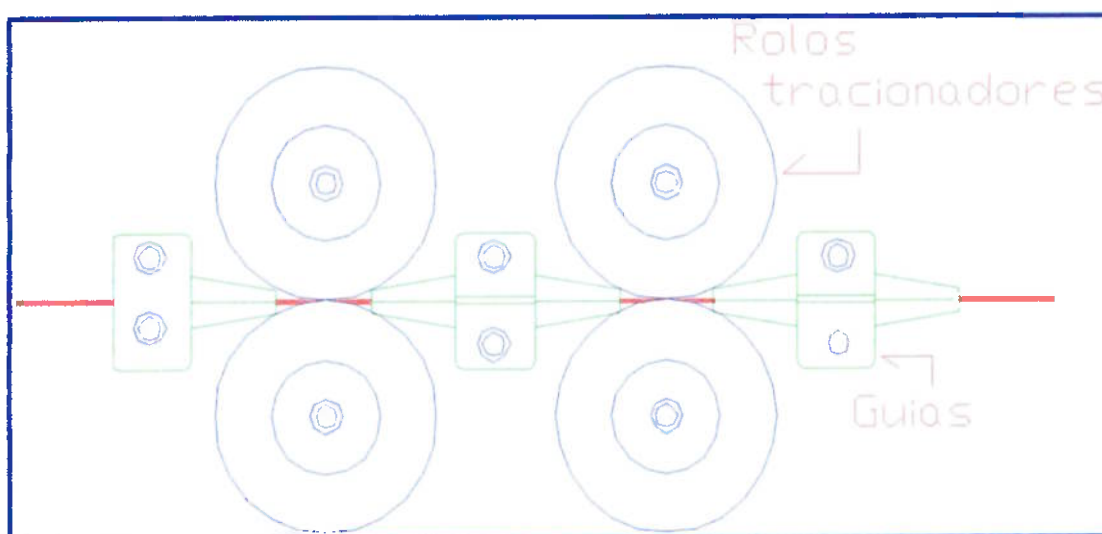


fig.VI.3 - Roletes tracionadores do arame.

Era necessário trocar os roletes pois o arame que foi enrolado na vez anterior era menor (1.5mm). Como os roletes possuem canais por onde o arame corre, cada arame necessita de um rolete próprio. Se o canal for grande demais, não existe pressão suficiente para a força de atrito necessária para o tracionamento. Se for pequeno demais, o arame é esmagado, estragando a mola.

Após a troca dos roletes, tem início a fixação do encosto, uma espécie de batente, onde o arame encontra resistência e acaba por ser conformado. O encosto é feito de aço com uma ponta de vídea soldada. Nessa ponta, é usinado um canal de largura próxima ao diâmetro do arame por onde ele desliza. Como o arame é maior do que o anteriormente enrolado, se fazia necessário trocá-lo. Esses encostos foram feitos pelo próprio técnico pois originalmente, a máquina vem com um encosto em forma de um pequeno rolete. A opção da troca se deu pela ineficiência do elemento, que girava aos trancos conforme o

arame ia sendo conformado, deformando a mola. A fixação do rolete, para que este ficasse sempre parado durante a conformação não resultou em êxito pois o material do rolete não possuía a dureza suficiente e era desgastado rapidamente. A escolha da vídea, contornou o problema pela dureza que este material possui.

A mola é aberta, porém o passo era de um valor tão pequeno (1.5mm), que o próprio encosto possui folga suficiente para o enrolamento com passo requerido.

O próximo passo é a colocação do arame, passando pelos endireitadores (horizontal e vertical), pelos roletes e guias, até chegar no encosto. Com um alicate, entorta-se o arame ao longo do encosto e do eixo de enrolamento para dar início à conformação. A mola possui sentido de enrolamento direito, logo não era preciso mudar a disposição dos elementos de enrolamento e corte. O aperto final nos roletes é, então, feito, apertando-se os encostos até o arame não escorregar (isso é feito ligando e desligando a máquina para observação do tracionamento).

A etapa seguinte se mostrou demorada. Foi a escolha e a fixação da ferramenta de corte. Uma representação do processo pode ser vista abaixo:

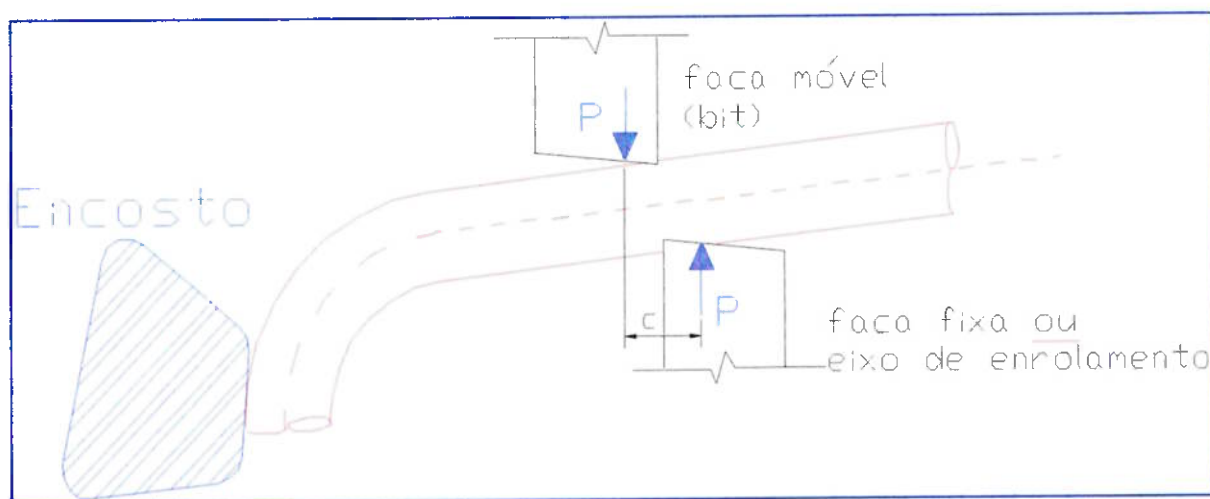


fig. VI.4 - Esquema do corte do arame.

O arame se enrola ao redor do chamado eixo de enrolamento, até encontrar o encosto de vídea, quando começa a se enrolar. Quando a alavanca da ferramenta de corte é acionada, a faca móvel vai de encontro ao arame, cortando-o, com o processo se repetindo para cada mola enrolada.

A ferramenta é um bit de metal duro. O eixo de enrolamento era, inicialmente, de aço rápido e inteiriça. A utilização desse material pela empresa, se mostrou ineficiente pois as quebras do eixo eram muito comuns, pela fragilidade do material. Novamente, foi adotada uma solução interna, que resolveu o problema. A adaptação feita foi a utilização de uma ponta de broca (da extremidade oposta às arestas cortantes) afiada no esmeril fixada por um pino prisioneiro em uma barra de aço. Por ser um material mais dúctil que o aço rápido, a adaptação cumpriu suas funções, sendo adotada pela empresa (mas que merece uma melhor análise, a ser feita ao longo deste trabalho).

Para cada diâmetro de arame, a posição relativa das arestas deve ser diferente, para que a folga “c”, que varia com a resistência e a espessura do arame, esquematizada na figura VI.4, atenda a condição de corte eficaz do arame. O procedimento do técnico foi, manualmente, (girando-se a polia), posicionar a ferramenta no ponto de corte, ou seja de maior aproximação entre arame e ferramenta. A seguir, observar a posição relativa dos dois elementos, retirar a ferramenta do suporte, levá-la até o esmeril, afiá-la de maneira mais própria e fixá-la novamente na máquina. O processo teve que ser repetido pois a afiação não foi totalmente exata (o corte não ocorreu). O eixo foi mantido o mesmo, sendo o ajuste da folga feito apenas na ferramenta de corte.

Pode-se abrir um parênteses aqui para a explicação do acionamento da alavanca de corte. O corte é comandado pela rotação de um eixo que possui um conjunto de camo/seguidor. Quando o camo está em sua posição máxima, o seguidor aciona uma alavanca que multiplica o esforço e aciona o movimento da ferramenta de corte. O sistema de camo-seguidor pode ser melhor visualizado a seguir:

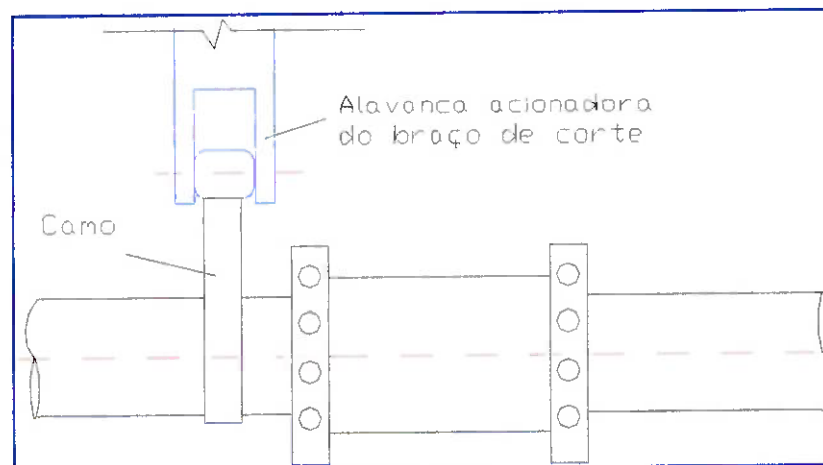


fig. VI.5 - Esquema do sistema camo-seguidor para o corte do arame.

A seguir, a regulagem do diâmetro externo da mola tem início. Isso é feito através da regulagem da distância entre o encosto e a saída do arame. Por meio de uma chave de boca, um parafuso é apertado ou desapertado, causando o deslocamento de um braço que contém o encosto (vide figura VI.6), aumentando ou diminuindo o diâmetro externo da mola. Novamente, o processo é feito por tentativa e erro: regula-se a distância, enrola-se algumas espiras, mede-se.

O processo é repetido até chegar-se ao diâmetro correto. Nesse caso, o técnico conseguiu a medida na segunda tentativa.

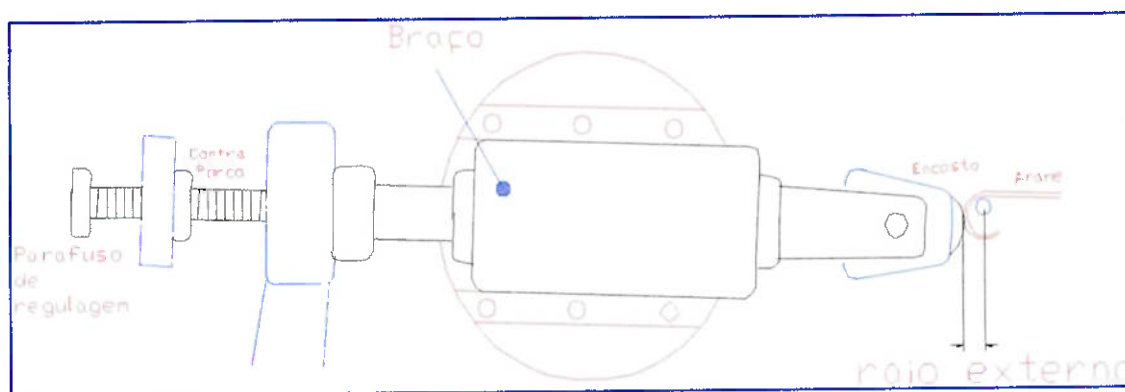


fig. VI.6

Com o passo e o diâmetro externo regulados, a última etapa é a regulagem do comprimento da mola, ou do número de espiras totais. Essa grandeza é regulada com a quantidade de arame que é alimentada. O movimento dos roletes de tracionamento é controlado por um engate bipartido dentado, que pode ser visto na sequência.

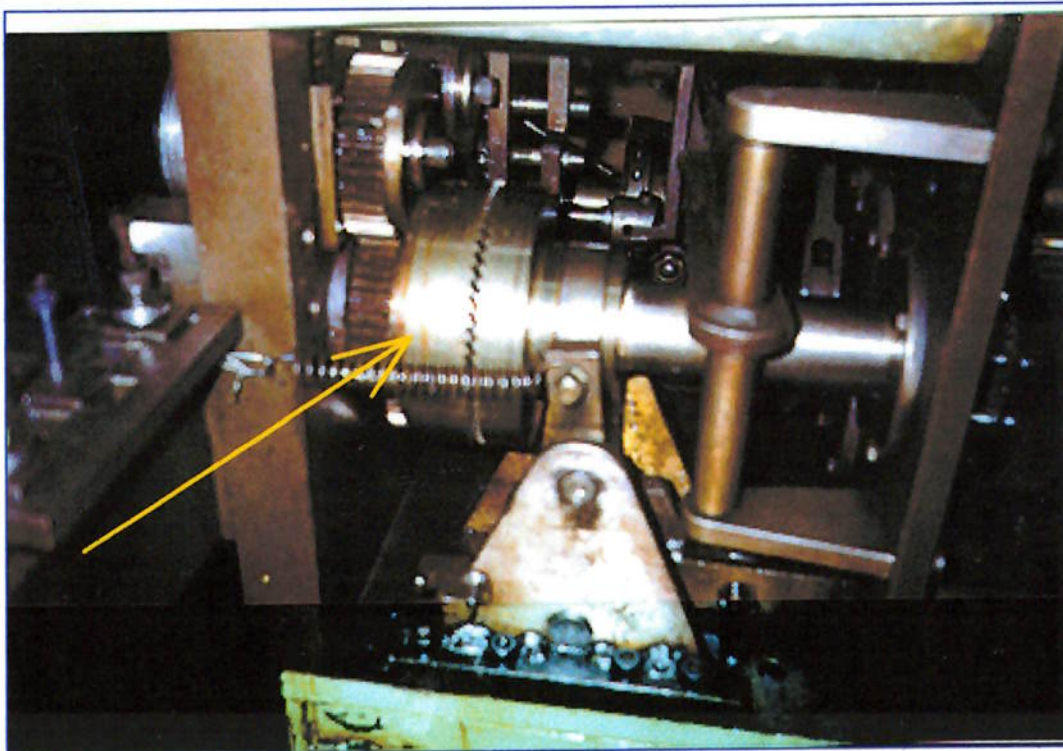
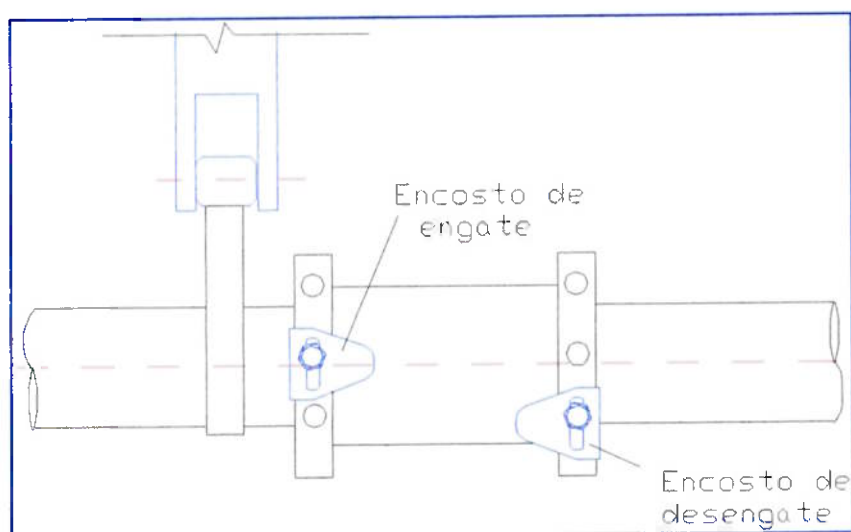


fig. VI.7 - Detalhe do engate dentado.

Uma das metades do engate está na saída de um eixo que o motor movimenta (depois de passar pelas polias e pelas reduções). Quando o acionamento do engate é feito, por uma alavanca comandada por um ressalto no mesmo eixo que possui o camo de acionamento do corte, os roletes giram, tracionando o arame. Um outro ressalto aciona o desengate, quando a mola já está pronta para o corte final (vide figura VI.8). As posições desses ressaltos pode ser mudada, conforme a necessidade, ao longo do tambor (o que é feito para aumentar ou diminuir o tempo de tracionamento).



Portanto, temos duas maneiras de controlar o número de espiras enroladas: ou por meio de 3 reduções do eixo que possui a metade do engate dentado, ou por meio das velocidades do eixo que controla o corte (pois este, mudando de rotação, muda a frequência dos engates-desengates). Também há a possibilidade de anular-se a rotação do eixo que controla o corte (com um *ponto-morto*), possibilitando o enrolamento contínuo de molas, sem haver o corte (usado para se fazer molas de comprimento muito grande, por exemplo, de 25 metros, usadas por empresas de desentupimento).

Com a redução já escolhida da regulagem anterior da máquina, a mola possuía 16 espiras totais. Como eram necessárias 18 espiras, não era preciso mudar a rotação de nenhum eixo, apenas o deslocamento do encosto de desengate pelo rasgo de fixação, aumentando um pouco o tempo de tracionamento, já foi suficiente para a regulagem da máquina. Essa operação também é feita passo a passo, por tentativa e erro. No nosso caso, como a regulagem já estava próxima, com apenas uma tentativa conseguiu-se o pretendido.

Com as operações citadas, terminou-se o *set up* da máquina para a mola em questão. Além das grandezas reguladas, ainda se poderia ter mais três: a regulagem do passo, a conicidade da mola e o sentido de enrolamento esquerdo. Para o passo, deve-se prender uma agulha que funciona como um defletor afastando uma espira da outra. Esse defletor é guiado por um camo presente no tambor que possui os ressaltos de engate e desengate. Como nas molas de compressão, deve-se começar o enrolamento com um passo pequeno, aumentar o passo durante o comprimento da mola e, no fim, diminuir o passo novamente, o camo afasta o defletor (através de alavancas) proporcionalmente aos passos necessários.

A conicidade da mola é conseguida variando o diâmetro externo durante o enrolamento. Para isso, o encosto é empurrado por um camo colocado na extremidade do braço que possui o *porta-encosto*, modificando o diâmetro com o enrolar da mola.

Finalmente, o sentido esquerdo de enrolamento é conseguido, fazendo com que o arame se enrole no sentido contrário e o sistema de corte venha de baixo para cima, trocando-se a posição da alavanca do porta-ferramenta.

A seguir, serão analisados os pontos que mais prejudicaram o processo de *set up*, buscando-se soluções alternativas para a sua otimização.

VII. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS E GERAÇÃO DE SOLUÇÕES

Essa parte do trabalho tem por finalidade a identificação das possíveis alternativas para cada uma das operações consideradas prejudiciais (por serem onerosas ou demoradas) ao processo de *set up* e fabricação de molas helicoidais pela máquina automática.

VII.1. Presença do auxiliar girando o carretel da bobina

O problema do auxiliar é o custo adicional na fabricação, pois em todo o tempo de enrolamento do arame, o auxiliar deve estar presente para girar o carretel. Apesar de possuir um mancal de rolamento na base, o modo de funcionamento (intermitente) combinado com peso da bobina, impede que o carretel se desenrole sozinho, apenas com o tracionamento do arame.

Com o carretel parado, a bobina começa a se enrolar nela mesmo até travar, forçando a máquina, chegando a arrastar o carretel, estragando a mola e podendo quebrar algum componente da máquina. Logo, é necessário que o arame esteja sendo alimentado continuamente.

Como uma primeira solução, temos a implantação de uma desbobinadeira motorizada. É um equipamento já comercializado, que possui várias velocidades de rotação, sendo regulada conforme a necessidade de alimentação. São disponíveis em diversos modelos com capacidade variando normalmente de 30 a 800 kg de arame.

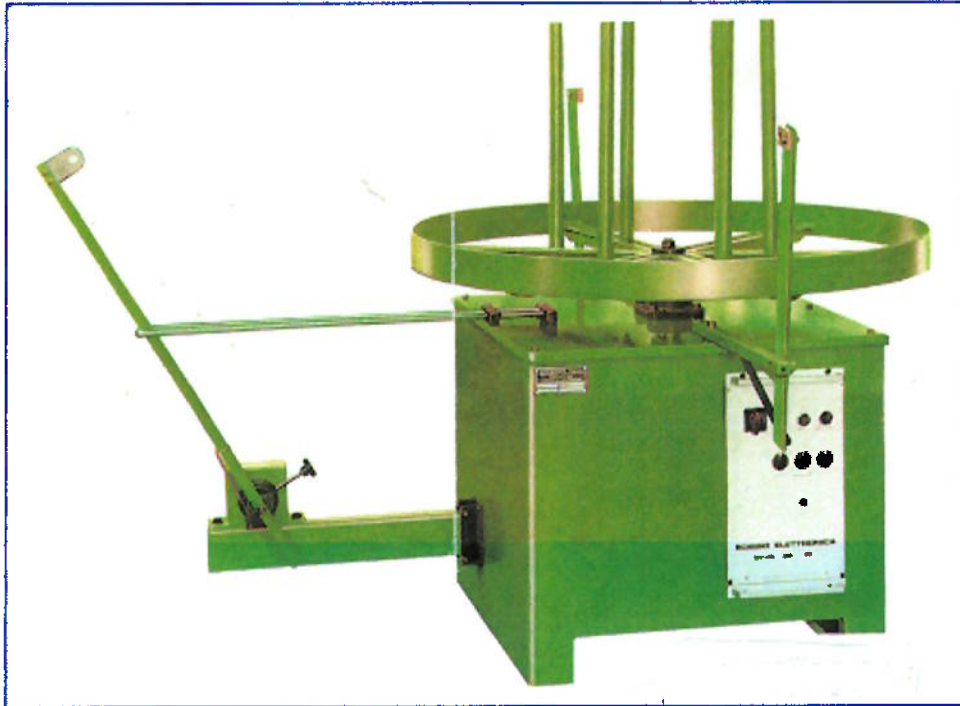


fig. VII.1 - Solução 1

Como segunda solução, podemos motorizar o carretel já existente, utilizando um pequeno motor elétrico (do tipo usado em limpadores de pára-brisa) e um mecanismo quadrilátero-articulado, onde haveria uma alavanca com retorno livre, acionando o carretel com uma frequência variável com a troca ou a regulação das peças. A figura a seguir ilustra essa opção.

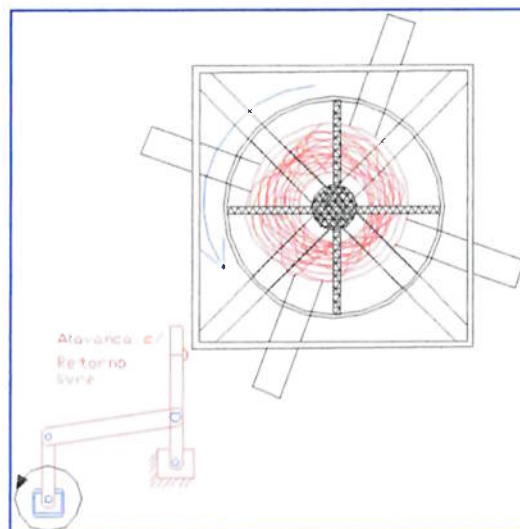


fig. VII.2 - Solução 2

A terceira solução é o impulsioneamento do carretel existente com um pistão pneumático. Utilizando um conjunto de válvulas acionadas por solenóides, regular-se-ia a frequência e a velocidade dos impulsos, conforme a necessidade da operação. O esquema da solução está na figura VII.3.

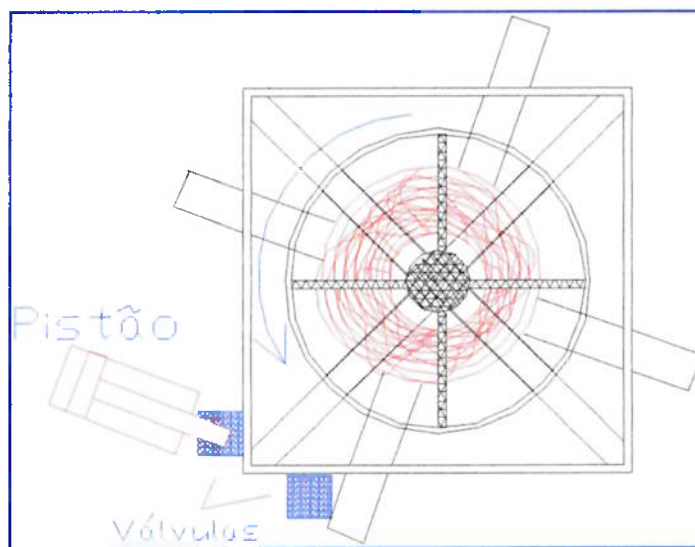


fig. VII.3 - Solução 3

VII.2. Troca dos Roletes de Tracionamento e das Guias

Aqui, o principal problema encontrado foi o tempo dispendido na troca dos componentes. Além do tempo de desmontagem, havia o tempo gasto para encontrar-se os roletes certos para o tracionamento. Explicando: os roletes precisam exercer uma pressão sobre o arame para que esta resulte numa força normal tal que a força de atrito entre os roletes e o arame seja suficiente para tracionar o material. Os rasgos nos roletes são necessários pois, caso não existissem, a área de contato seria muito pequena, resultando em tensões tais que deformariam o material (fato comprovado na prática, com o arame sendo laminado em forma de fita).

Logo, a troca dos roletes é necessária para cada diâmetro de arame utilizado, juntamente com a troca das guias. Se fosse possível utilizar apenas um tipo de rolete para todos os diâmetros de arame, o tempo da troca seria eliminado, contribuindo para a diminuição do tempo de *set up*. Porém, como a troca deve ser feita, deve-se buscar alternativas para a minimização de sua duração.

Um modo de agilizar a troca é a organização e a identificação dos roletes, visto que se encontram todos misturados, sem ordem nenhuma em uma estante. Para cada troca de jogos, o técnico encaixa o arame a ser usado nos rasgos, até encontrar o rolete adequado. Para mudar o panorama presente, poderia-se identificar o intervalo de trabalho de cada rolete (além de cada rolete possuir dois tamanhos de rasgos, cada um desses tamanhos serve para um intervalo definido de diâmetros), colocar uma identificação em suas faces e armazená-los segundo essa classificação. O detalhamento do modo de se fazer essa organização é assunto para estudo no Projeto Básico.

VII.3. Regulagem do posicionamento do corte

Nesse tópico, as alternativas devem compensar o tempo gasto na regulagem do posicionamento da ferramenta de corte e do eixo de enrolamento. Como visto no capítulo anterior, para se satisfazer a condição de folga entre as duas *facas*, o técnico desmontava o porta-ferramenta, retirando esta para afiá-la no esmeril, até conseguir um corte eficaz.

Dentre os problemas constatados, estão:

- Se a condição de folga não é satisfeita, deve-se desmontar o porta-ferramenta, levá-la ao esmeril e afiá-la até conseguir-se a geometria correta para o corte.
- Depois da afiação, se o diâmetro do arame do próximo pedido for menor que o atual, deve-se usar uma outra ferramenta ou reafiá-la (desbastando a antiga aresta, até chegar no corpo da peça, e a seguir, usinando uma nova aresta).
- Se o eixo de enrolamento necessitar ser trocado (por servir a diâmetros de arame muito diferentes), deve-se retirar todo suporte do eixo, levá-lo até a bancada, prendê-lo na morsa, retirar o pino prisioneiro e colocar um novo eixo, que já foi previamente usinado.

Dos problema citados, os mais comuns são os dois primeiros. Para contorná-los, listamos as alternativas, que podem ser tomadas independentes ou combinadas entre si:

A primeira solução poderia ser o estabelecimento de um conjunto de ferramentas já afiadas para determinados diâmetros de arame. Com o mesmo eixo de enrolamento fixo, seria necessário somente a troca da ferramenta, o que é simples, bastando a retirada dos parafusos Allen do suporte. Como um mesmo eixo não serve para diâmetros de arame muito diferentes, poderia fazer-se conjuntos, com um eixo e diversas ferramentas. As únicas operações necessárias seriam as trocas, eliminando as usinagens de afiação, muito mais demoradas.

O procedimento necessário seria a classificação dos diâmetros mais comuns e a elaboração dos conjuntos segundo essa classificação. Os conjuntos, poderiam estar dispostos como na figura esquematizada a seguir:

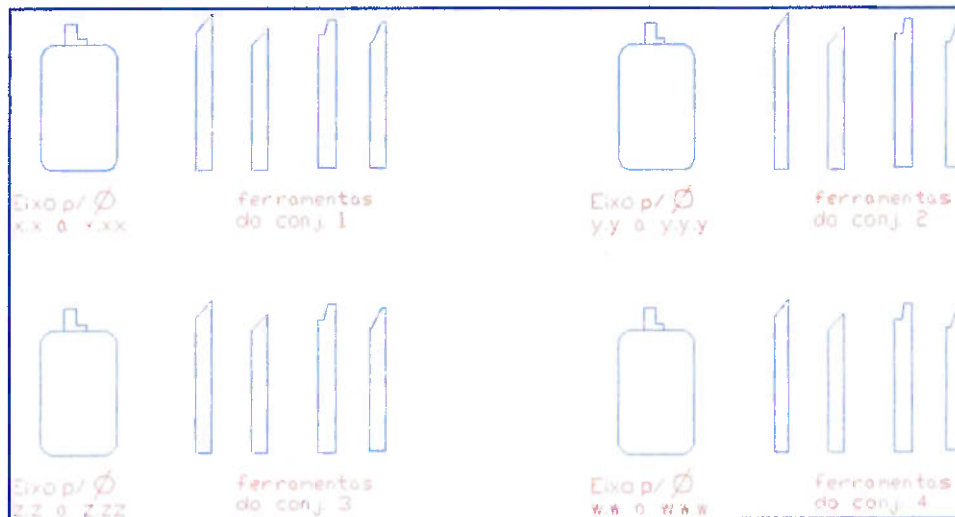


fig. VII.4 - Solução 1.

Uma segunda alternativa, que, reforçando, poderia ser usada em conjunto com a anterior, é a regulação da posição relativa entre a ferramenta de corte e o eixo de enrolamento. Ao invés de apenas ter-se a possibilidade de ajuste pela usinagem da ferramenta, poderia-se deslocar lateralmente ou o porta-ferramenta ou o eixo de enrolamento para que a folga necessária fosse atendida. Assim, não haveria a necessidade da usinagem de ajuste (e da desmontagem e montagem da ferramenta), diminuindo o tempo de preparação da máquina gasto nessa etapa.

Como o eixo de enrolamento é encaixado num orifício próprio e fixado com parafusos, torna-se mais fácil o deslocamento da posição da ferramenta de corte. Isso poderia ser feito, modificando-se o sistema de fixação do porta-ferramenta. Atualmente, este só permite a regulação vertical da ferramenta, o que é usado quando se esta é desbastada e deve ser deslocada para baixo para alcançar o arame. A figura a seguir, ilustra a condição atual:

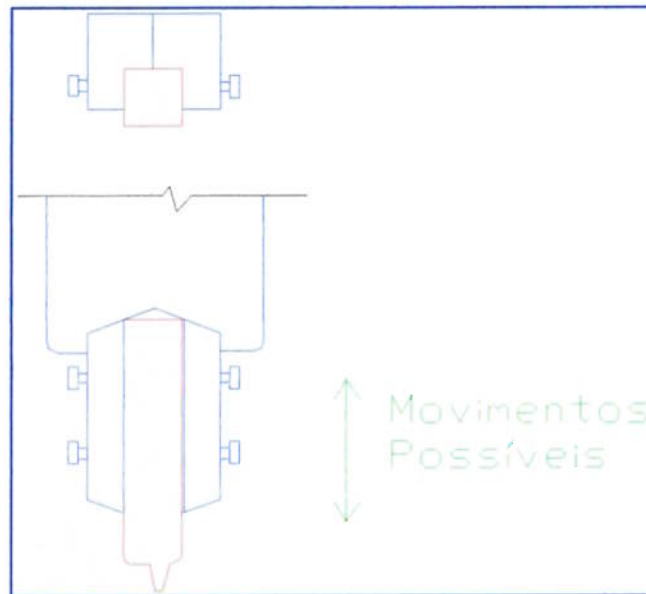


fig. VII.5 - fixação atual da ferramenta.

Como uma alternativa para a condição atual, uma fixação que permitisse o deslocamento horizontal, além do vertical, acabaria com a necessidade de usinagem de ajuste da ferramenta. Um esquema de uma possível solução para o problema pode ser encontrado na figura VII.6:

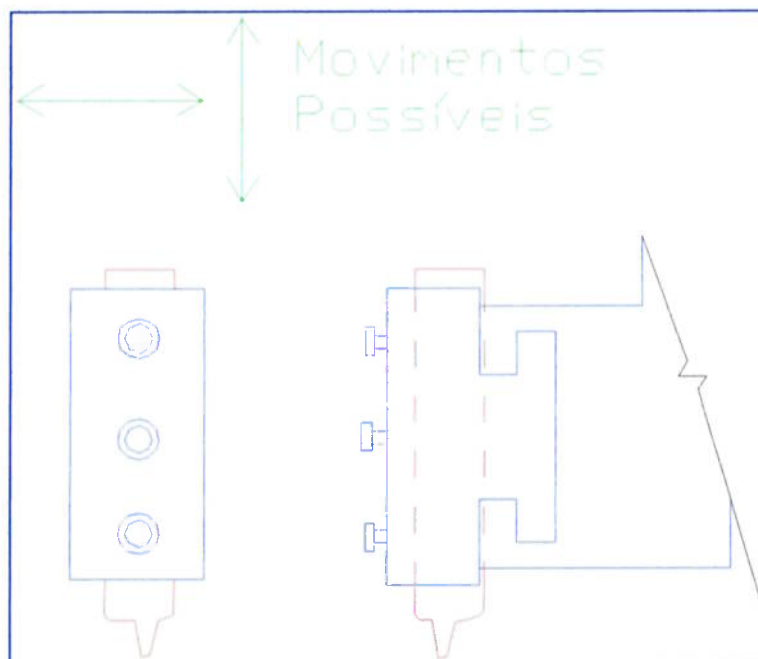


fig. VII.6 - Possível solução para fixação da ferramenta.

VII.4. Regulagem do comprimento da mola

Para a regulagem do comprimento da mola (ou do número de espiras), utiliza-se as diferentes velocidades de tracionamento dos roletes, combinadas com posições relativas dos ressalto de engate-desengate ao longo do tambor do eixo de corte e com as diferentes velocidades deste eixo.

No caso acompanhado, esta regulagem foi simples, pois precisava-se de 18 espiras e a máquina já estava regulada para 16 espiras. Logo, com um simples deslocamento do ressalto de desengate (para atrasar o tempo suficiente de 2 espiras), conseguiu-se o necessário.

Porém, na maioria das vezes, não existe essa coincidência, sendo necessário testar várias marchas até chegar num resultado próximo para a seguir, fazer a regulagem fina (isto é, o deslocamento dos ressaltos). Esse método de tentativa e erro pode levar um tempo considerável, prejudicando muito o tempo de *set up*.

Uma solução é a elaboração de uma tabela com todas as marchas possíveis de serem usadas e o intervalo de comprimento de arame tracionado para cada uma delas. Com o número de espiras e o diâmetro da mola, tem-se o comprimento necessário para cada ciclo. Procura-se então o valor dentro desses intervalos de comprimento tabelados, indo-se direto à marcha correta. As diversas posições dos ressaltos também poderiam ser identificadas e tabeladas, permitindo a colocação dos ressaltos no furo correto, faltando apenas a regulagem fina.

Um exemplo dessa tabela pode ser visualizado abaixo:

Marcha	Intervalo: de	até
1º	xx	kk
2º	yy	jj
3º	ww	hh
etc	zz	gg

VII.5. Regulagem do diâmetro externo da mola

Finalmente, o último ponto a ser analisado é o procedimento de regulagem do diâmetro externo da mola, que consta de (para melhor acompanhamento, sugere-se observar a figura VI.6):

- Para diminuir o diâmetro externo:

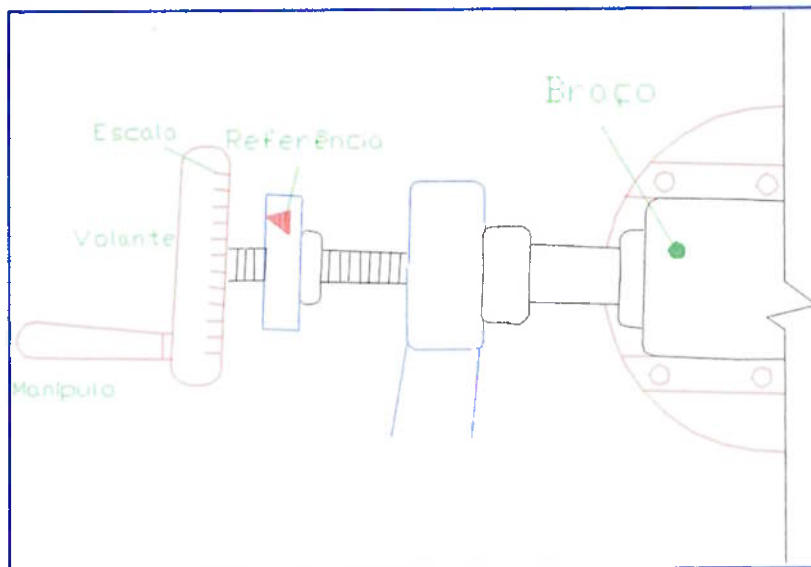
Apertar o parafuso de regulagem com uma chave de boca e fixar novamente a contra-porca para que esta posição não se modifique. A seguir, enrolar algumas espiras (3 ou 4) e medir novamente o diâmetro, com o processo se repetindo até chegar-se ao valor desejado.

- Para aumentar o diâmetro:

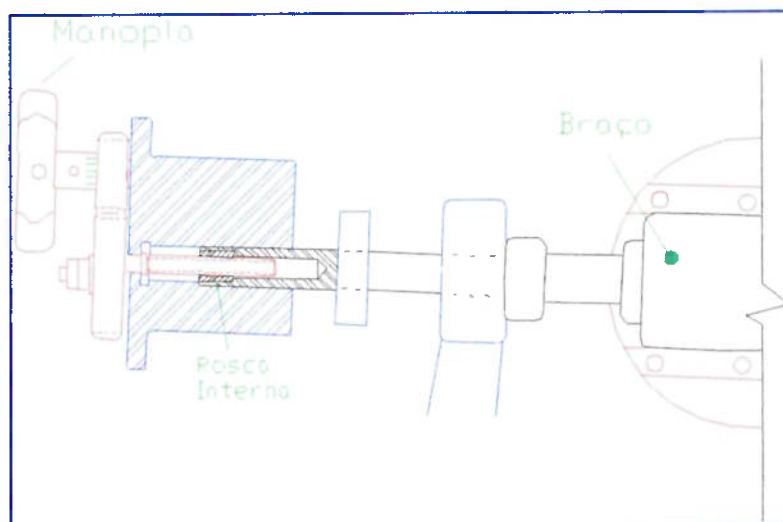
Basta soltar a contra porca que o braço retorna pela ação de uma mola interna. O procedimento é repetido até acertar-se.

Logo, os principais problemas são: o método de tentativa e erro para se chegar na medida certa e a utilização incômoda da chave de boca para apertar o parafuso. Como alternativas para minimizar esses problemas, estão as soluções a seguir:

A primeira alternativa seria a substituição do parafuso por um dispositivo mais prático, como uma manivela ou um volante com manípulo. Assim, eliminaria-se a utilização da chave de boca, que além de incômoda, é outra peça a ser procurada na caixa de ferramentas. Além do volante, poderia ser colocado um anel graduado, semelhante aos usados nos tornos. A marcação nesse anel poderia ser em divisões de volta ou em avanço do braço do encosto. Assim, seria necessário apenas a primeira medição do diâmetro externo, eliminando as etapas de tentativas. Um esquema dessa solução está na figura na seqüência:

fig. VII.7 - Solução 1 para regulação do ϕ externo.

Uma segunda solução seria a utilização de um conjunto formado por uma manopla, um par engrenado e um parafuso com porca interna. A manopla possuiria um um anel graduado marcando o avanço do braço. O par engrenado transmitiria a força para o parafuso que, fixo, empurraria a rosca interna conectada ao braço. Pode-se notar que o sistema é auto travante, não necessitando da contra-porca para a fixação da posição. Uma figura ilustrativa dessa solução pode ser vista a seguir:

fig. VII.8 - Solução 2 para regulação do ϕ externo.

VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESTUDO DE VIABILIDADE

Uma nota importante diz respeito à geração de outras soluções possíveis para os problemas apresentados. Não foram consideradas as alternativas que modificariam o princípio de funcionamento da máquina ou necessitariam de um investimento grande demais, como:

- Um sistema de tracionamento do arame diferente do conjunto de roletes, por exemplo, utilizando atuadores e garras pneumáticas.
- Um sistema de controle do comprimento da mola diferente das velocidades de rotação dos roletes e das posições dos ressaltos, por exemplo, um sensor de posição, pois o corte funciona em conjunto com o controle do comprimento (o mesmo eixo contém o camo de corte e tambor dos ressaltos).
- A utilização de um motor de passo para controlar o diâmetro externo da mola pois o custo do sistema de controle do motor não seria compensador em relação ao benefício trazido.
- A troca do sistema de troca de marchas e ressaltos de engate e desengate por um conjunto Motor+Variador de Velocidade, devido ao alto preço e à mudança de concepção da máquina.

As soluções apresentadas foram consideradas como as mais viáveis em todos os aspectos: custo de implantação, facilidade de adaptação na máquina, melhoria no funcionamento do processo, importância na diminuição do tempo de *set up*.

O próximo passo do trabalho é a escolha das melhores soluções, seu detalhamento e dimensionamento das partes principais, visando a futura implementação das melhorias, procurando adaptá-las às outras máquinas da empresa, trazendo benefícios econômicos ao processo de fabricação de molas helicoidais.

IX. INTRODUÇÃO AO PROJETO BÁSICO

Nesta seção, começaremos analisando cada uma das possíveis soluções encontradas para cada um dos cinco problemas identificados no Estudo de Viabilidade. Para aqueles problemas com mais de uma alternativa, será feita uma matriz de decisão, escolhendo a melhor, segundo critérios a estabelecer. Para aqueles problemas com uma única alternativa, serão detalhados os procedimentos para a sua implantação. Após feitos esses passos, começará propriamente o Projeto Básico de cada um dos problemas, projetando, analisando, pesquisando e implantando as soluções escolhidas.

Primeiramente, trataremos dos problemas que não apresentam matriz de decisão.

- *Troca dos roletes tracionadores*

Aqui, será feita uma pesquisa através de um histórico recente de vendas a fim de se conhecer quais são os diâmetros de arame mais comuns de serem utilizados. Com esses dados, serão analisados os conjuntos de roletes e guias já existentes e se estes conjuntos atendem à demanda prevista. Caso seja necessário adquirir outros conjuntos, visando abranger todo o intervalo de bitolas de arame, será feito.

Após essa pesquisa, será feita a armazenagem racional das peças, buscando a maior rapidez quando houver a necessidade de trocá-las. O detalhamento dos procedimentos será feito na próxima seção.

- *Regulagem do comprimento da mola*

Esse problema será resolvido com a ampliação da alternativa proposta no Estudo de Viabilidade. O que, inicialmente, viria a ser uma tabela, será detalhada como um manual. O primeiro nível identificará, através de testes práticos, os limites (mínimo e máximo) de comprimento para cada marcha engatada. O segundo nível detalhará cada uma das marchas através de todas as combinações possíveis de alocação dos ressaltos de engate e desengate.

Esses dados serão colocados em um banco de dados de uma planilha eletrônica (do tipo MS-Excel). Com a especificação da mola, essa planilha calculará o comprimento da mola e localizará as possíveis combinações de marchas e posições a serem utilizadas na máquina. Isso tudo será feito ao ser recebido o pedido, portanto o técnico que irá operar a máquina não precisará realizar nenhuma análise ou cálculo, evitando erros e diminuindo o tempo de preparo do equipamento.

O relato dos testes, a elaboração da planilha e exemplos de utilização serão mostrados ao longo desse trabalho.

A seguir, trataremos dos problemas que tiveram mais de uma alternativa no Estudo de Viabilidade. Para a escolha entre a melhor alternativa em cada um dos problemas, utilizaremos o critério de Matriz de Decisão, onde daremos pesos e notas a várias características do projeto. Estas características são:

- ◇ Eficiência: Diz respeito à capacidade de diminuição do tempo de preparação da máquina ou da mão-de-obra envolvida. Tem o peso maior, pois influi diretamente na diminuição do custo de fabricação, sendo o objetivo principal do trabalho.
- ◇ Manuseio: Esta característica leva em consideração a facilidade de utilização do mecanismo / aparelho / dispositivo no processo.
- ◇ Adaptabilidade: Relacionado com a facilidade de implantação da solução na máquina pré-existente ou em outra a ser adquirida. Uma solução pode ser muito boa, porém de difícil implantação na máquina.
- ◇ Custo: Este parâmetro analisa o custo de implantação da solução, incluindo mão-de-obra e matéria- prima. O peso dessa característica não é dos mais altos pois uma alternativa custosa pode ser paga com os benefícios da melhoria da produção.
- ◇ Manutenção: Analisa a manutenção prevista para o equipamento, reparos, peças sobressalentes e serviços (lubrificação, regulagem, etc). Como o tempo gasto na manutenção é um tempo morto, este fator não pode ser esquecido.

Baseados nas características citadas, analisaremos os outros problemas levantados na primeira fase do projeto:

- Presença do ajudante no carretel

São três as alternativas a serem analisadas: a desbobinadeira automática, o sistema pneumático e o sistema baseado no quadrilátero articulado. A Matriz de Decisão para o problema fica:

Característica	Desbobinadeira Autom.			Sistema Pneumático			Quadrilátero Articulado		
-	Nota	Peso	Total	Nota	Peso	Total	Nota	Peso	Total
Eficiência	5	5	25	4	5	20	4	5	20
Manuseio	5	4	20	3	4	12	2	4	8
Adaptabilidade	4	4	16	2	4	8	4	4	16
Custo	3	3	9	4	3	12	5	3	15
Manutenção	3	2	6	3	2	6	4	2	8
TOTAL GERAL	76			58			67		

tabela IX.a

Os valores acima se justificam pelos seguintes fatos:

- ◇ O manuseio do quadrilátero articulado é o mais difícil, necessitando de regulagens nos comprimentos dos braços para se obter a velocidade requerida.
- ◇ A adaptabilidade do sistema pneumático é a pior pois necessita de um compressor de ar, que não terá outra utilidade na firma.
- ◇ O custo da desbobinadeira é o maior devido à maior complexidade do aparelho. Já o custo do quadrilátero é o menor por se tratar de um arranjo muito simples.
- ◇ As eficiências não se diferem muito, desde que cada uma das alternativas funcione de modo esperado.

Portanto, analisando-se a Matriz, vemos que a solução da desbobinadeira automática é a que deve ser utilizada. Para isso, deve-se fazer uma seleção, dentre os modelos existentes, da que mais se adapta e supre as necessidades da empresa. Esse procedimento será feito no próximo tópico do trabalho.

- Regulagem do Diâmetro Externo da Mola

São duas as alternativas a serem analisadas: o Manípulo Simples e o Manípulo com redutor. A Matriz de Decisão para o problema fica:

Característica	Manípulo Simples			Manípulo com Redutor		
	Nota	Peso	Total	Nota	Peso	Total
-						
Eficiência	4	5	20	5	5	25
Manuseio	3	4	12	4	4	16
Adaptabilidade	4	4	16	4	4	16
Custo	4	3	12	3	3	9
Manutenção	4	2	8	4	2	8
TOTAL	68			74		
GERAL						

tabela IX.b

Os valores acima se justificam pelos seguintes fatos:

- ◇ A eficiência do manípulo com redutor é maior pois o sistema é auto travante, não necessitando da contra porca para fixação da posição.
- ◇ O manuseio do manípulo com redutor é melhor pois pode-se variar o avanço axial da porca interna com a utilização do par de engrenagens.
- ◇ O custo do manípulo simples é menor por possuir menos partes construtivas.

Portanto, com os dados acima, vemos que a solução do manípulo com redutor é a que será utilizada. Maiores detalhes construtivos e o dimensionamento do dispositivo são assuntos para o próximo tópico do trabalho.

- Posicionamento da aresta de corte:

São duas as alternativas a serem analisadas: os conjuntos pré-classificados e o deslocamento lateral do cabeçote. A Matriz de Decisão para o problema fica:

Característica	Conjuntos Pré-Classificados			Deslocamento Lateral do Cabeçote		
-	Nota	Peso	Total	Nota	Peso	Total
Eficiência	3	5	15	5	5	25
Manuseio	3	4	12	4	4	16
Adaptabilidade	5	4	20	3	4	12
Custo	5	3	15	3	3	9
Manutenção	3	2	6	5	2	10
TOTAL GERAL	68			72		

tabela IX.c

Os valores acima se justificam pelos seguintes fatos:

- ◇ Os conjuntos pré-classificados não são uma solução eficiente pois poderia acontecer de aparecer um arame de diâmetro não muito comum, o qual não possuiria nenhum conjunto pré-classificado, obrigando o técnico a realizar o procedimento antigo de ajuste no esmeril.
- ◇ O mesmo motivo acima explica a melhor nota dada ao deslocamento lateral do cabeçote no item eficiência.

- ◊ Uma grande vantagem dos conjuntos pré-classificados é o seu custo. Isso, porém, não compensa os outros quesitos em que esta alternativa tem pior comportamento.

Tendo em vista essa análise, partiremos para a solução do deslocamento lateral. O principal problema dessa alternativa é a adaptabilidade à máquina já existente. O dimensionamento e o detalhamento final é assunto para a próxima etapa.

X. PROJETO BÁSICO

X.1. Desbobinadeira automática

Para solucionarmos o problema da presença de um auxiliar durante o processo de fabricação, responsável apenas por ajudar a girar o carretel, escolhemos na etapa anterior a alternativa da desbobinadeira automática, que consta de um suporte fixo, uma base giratória apoiada em rolamentos e um conjunto de motor CC e redutor que acionam a base.

A velocidade pode ser regulada através de um potenciômetro, de acordo com a necessidade do processo. As mais atuais também possuem regulação automática da velocidade através de um sensor no braço tensor de arame, sendo estas as cotadas nesse trabalho.

No mercado, existem vários modelos, sendo divididos de acordo com a capacidade de carga da bobina de arame. Para a escolha do melhor modelo, pesquisou-se com os técnicos da Brasilmol os pesos mais comuns de bobina utilizados. A princípio, não haveria limitação para esta grandeza pois costuma-se cortar da bobina original uma certa quantidade de arame para então colocá-la no carretel. Porém, a operação de corte seria um tempo a mais dispendido no processo, logo preferimos analisar o problema levando em conta o tamanho máximo de bobina.

Assim, a bobina seria colocada por inteiro na desbobinadeira, utilizaria-se a quantidade necessária e então esta voltaria para a prateleira (que fica ao lado das máquinas). Os fabricantes de arame costumam entregar bobinas de até 250 / 300 kg, logo este foi o valor usado para a seleção do equipamento.

Foram contactados três fabricantes, com os seguintes modelos e características:

Modelo	DH 200	DH 500	AB 2
Fabricante / Origem	Schenker / Suíça	Schenker / Suíça	Bobbio / Itália
Capacidade de Carga	200 kg	500 kg	250 kg
Rotação Máxima	80 rpm	60 rpm	60 rpm
Preço	R\$ 16.000,00	R\$ 18.000,00	R\$ 7.300,00

tabela X.1.a

Por se tratar de um dispositivo simples, sem nenhuma característica técnica mais avançada, ou necessidade de manutenção, optou-se pelo modelo que atende a capacidade de carga e que é o mais barato, ou seja o modelo AB 2 da Bobbio. O equipamento pode ser visto abaixo:



figura X.1.a

As dimensões principais, em milímetros, do modelo selecionado podem ser vistas no esquema abaixo:

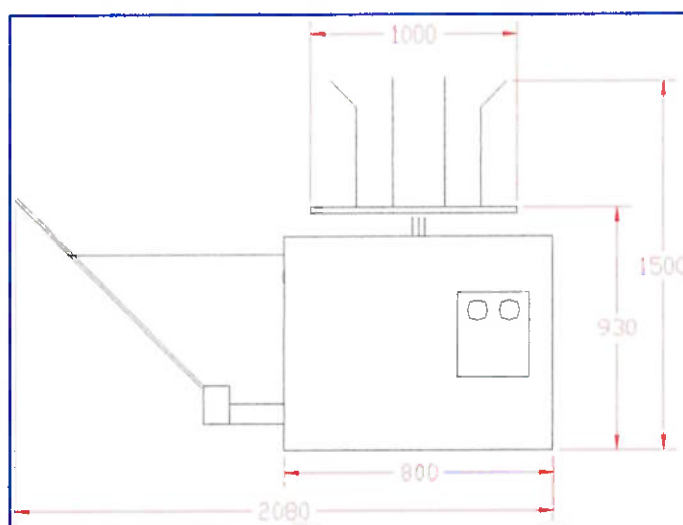


fig.X.1.b

X.2. Troca dos roletes de tracionamento

Na etapa introdutória do Projeto Básico, foi comentado que seria analisada a necessidade da obtenção de mais roletes para abranger todos os diâmetros de arame utilizados. No presente momento, não há a necessidade de se adquirir mais roletes pois os atuais já preenchem a gama de diâmetros mais comercializados.

Os dois problemas encontrados, isto é, a desorganização do armazenamento e a verificação por tentativa e erro da largura do canal serão resolvidos da seguinte forma:

Foram marcados os 4 pares de roletes existentes para essa máquina. Cada rolete possui dois canais para diâmetros diferentes. Um desenho esquemático de um rolete pode ser visto abaixo:

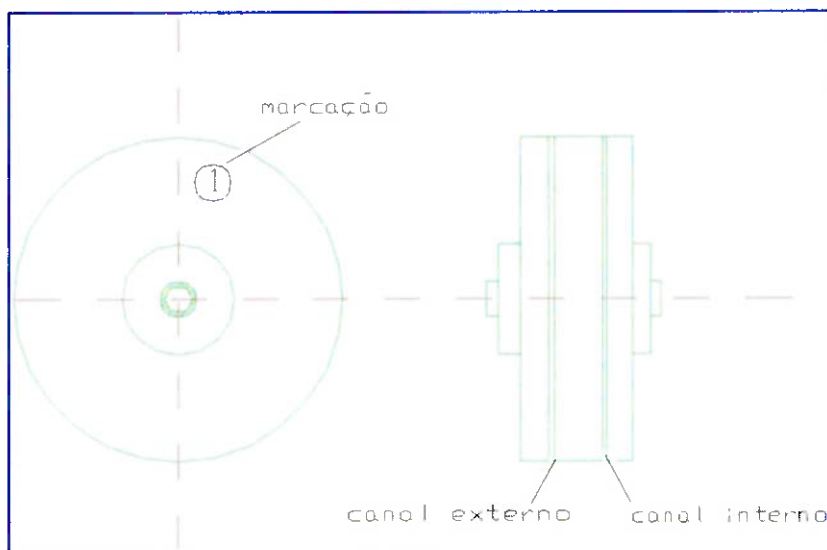


fig. X.2.a

Os pares de roletes foram identificados e classificados conforme tabela abaixo:

IDENTIFICAÇÃO	Variação do Diâmetro do arame para canal externo	Variação do Diâmetro do arame para canal interno
NÚMERO 1	de 1,00 até 1,30 mm	de 1,40 até 1,60 mm
NÚMERO 2	de 1,70 até 1,90 mm	de 2,00 até 2,20 mm
NÚMERO 3	de 2,50 até 2,70 mm	de 3,00 até 3,50 mm
NÚMERO 4	de 3,80 até 4,00 mm	de 4,50 até 4,70 mm

tabela X.2.a

Logo, armazenando-se os roletes num armário já existente, separando par a par segundo numeração acima, além da utilização de uma tabela semelhante à mostrada, pendurada junto à máquina, têm-se a solução para o problema diminuição do tempo de troca dos roletes. Esta solução, apesar de simples, é eficaz e possui um custo quase nulo para a sua implementação, visto que a empresa já possui o local para armazenagem e marcadores para a identificação.

Aproveitando a planilha que será implementada no item a seguir, a informação do número do rolete a ser utilizado também será impresso, sendo mais uma fonte de consulta para o técnico.

X.3. *Regulagem do Comprimento da Mola*

Atualmente, os dados do cliente para a fabricação das molas são adquiridos por telefone ou através de um fax pelo setor de vendas. A seguir, esses dados são passados à mão para um pequeno bloco de informações e enviados à Produção.

Se o pedido for feito na máquina automática, o técnico é quem irá regular a melhor combinação de marcha e posições dos ressaltos (de engate e desengate) para a obtenção do comprimento de arame necessário.

O formato do bloco de informações é o seguinte:

BRASILMOL Ind. de Molas Ltda. certificado de produção N° _____			
ϕ médio		Qtde.	
ϕ externo		ϕ arame	
Comprimento		ϕ interno	
N° espiras úteis		Passo	
N° espiras totais		Referência	
Carga		Flecha	
Material		Pedido N°	
OBS.:			

Onde o significado de cada um dos campos que interessam para o presente problema pode ser melhor entendido com a figura a seguir:

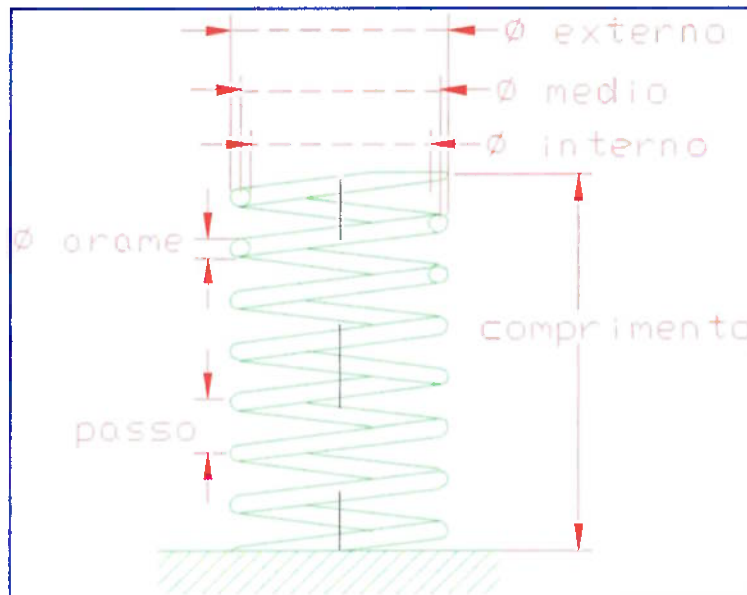


figura X.3.a

Pode-se constatar que:

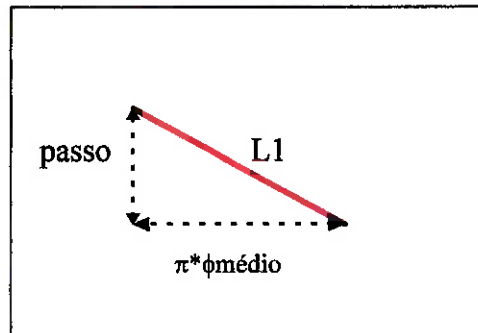
- ϕ médio = ϕ externo - ϕ arame;
- N° espiras Úteis = quantidade de espiras que suporta o carregamento;
- N° espiras Totais = quantidade total de espiras. Geralmente, considera-se (N° espiras Úteis + 2).

A idéia se resume ao preenchimento, por parte da área de Vendas, dos dados do cliente numa planilha Excel, que irá calcular o comprimento de arame necessário, buscará esse valor num banco de dados de posições de ressaltos e marchas, imprimindo uma saída no formato do bloco de informações que já está sendo utilizado.

Esta saída será enviada ao técnico de produção, eliminando o procedimento de "tentativa e erro" para a regulação do comprimento da mola.

Para o cálculo do comprimento de arame utilizado, foram utilizados os seguintes aspectos construtivos:

Desenrolando **uma** espira (representada em vermelho), temos:



- $L1 = \sqrt{\text{passo}^2 + (\pi * \phi \text{ médio})^2}$

O comprimento total de arame utilizado (LT) é a quantidade de espiras totais multiplicado pelo comprimento de cada espira (L1):

- $Lt = Nt * L1$

Ao serem digitados os dados do cliente, a planilha calcula LT e imprime a saída que irá para a produção.

Todos os valores desse banco de dados foram colhidos experimentalmente na máquina, da seguinte forma:

- **Passo 1:**
Identificação das marchas de acordo com o esquema abaixo:

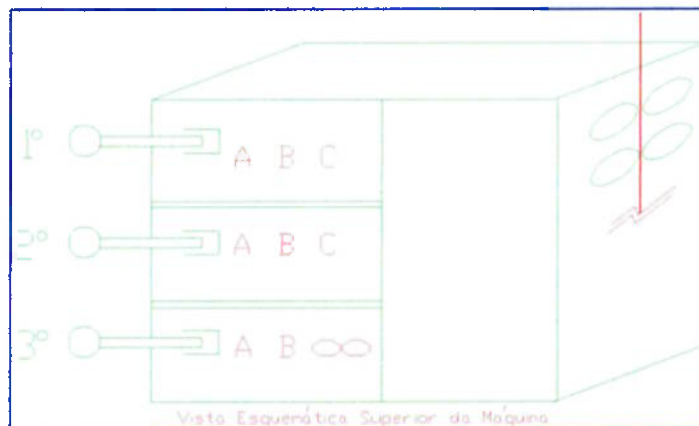


fig. X.3.b

Isto é, dividimos os câmbios em 3 (1º, 2º, 3º) e cada um deles foram identificadas 3 posições (A,B,C para os dois primeiros e A, B, ∞ para o último). É bom lembrar que o primeiro câmbio controla a rotação do eixo dos roletes tracionadores, portanto de alimentação do material. Os dois outros câmbios controlam a velocidade do eixo de engate/desengate/corte. O símbolo ∞ dado à posição 3 do terceiro câmbio se justifica pois nessa posição, não há corte na mola, resultando em molas de comprimento “infinito”. Logo a identificação da marcha **AAB** se refere à:

Primeiro Câmbio	posição A
Segundo Câmbio	posição A
Terceiro Câmbio	posição B

• **Passo 2:**

Identificação dos 32 ressaltos (16 de engate e 16 de desengate) de acordo com o esquema abaixo:

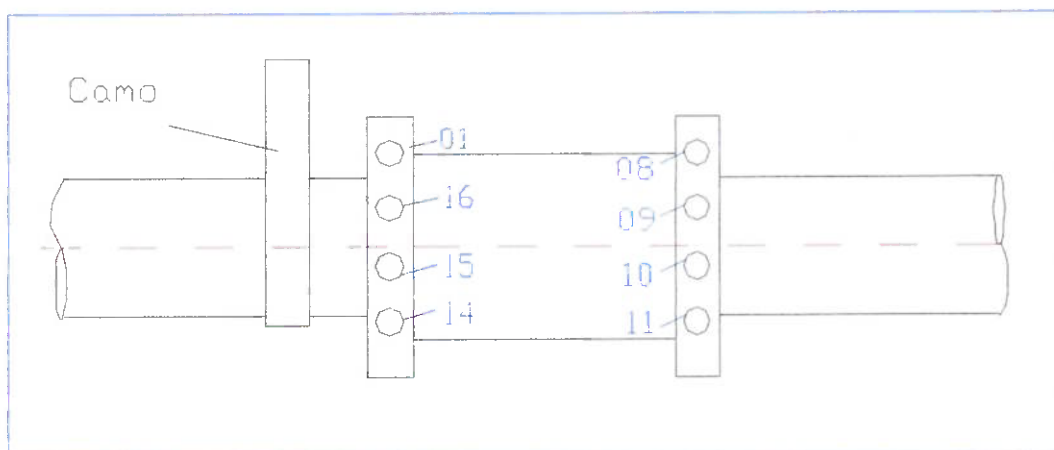


fig. X.3.c

Isto é, para os ressaltos de engate, começando a contagem na direção do camo de corte, avançando no sentido de rotação do tambor, até chegar ao número 16, que é a última posição.

Para os ressaltos de desengate, começando a contagem no ressalto oposto ao nº 1 de engate, avançando no sentido de rotação do tambor, até chegar ao número 16.

• **Passo 3:** A tomada de dados.

Utilizando o diagrama de marchas da máquina (figura II.3.d), foi tirado experimentalmente alguns dos comprimentos possíveis, com os ressaltos em posições estratégicas de modo a resultar em valores bons para a análise.

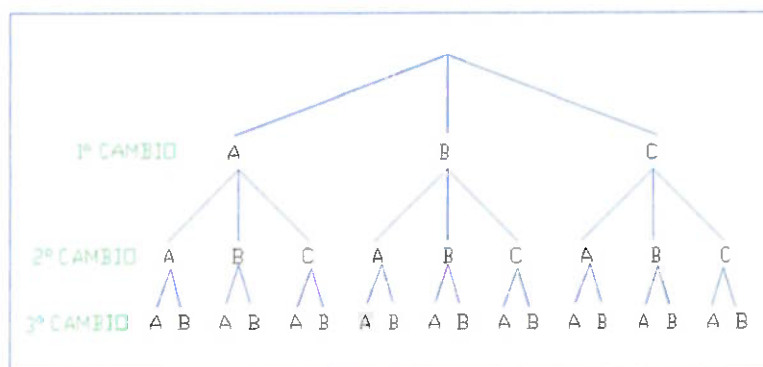


fig. X.3.d

Com as relações de transmissão, calculou-se os outros comprimentos possíveis.

Os dados foram tabelados da seguinte forma:

Identific. da Marcha	AAA	AAB	ABA	ABB	ACA	ACB	BAA	BAB	BBA
Comprimento (mm)	505	874	960	1659	252	435	252	435	480

Identific. da Marcha	BBB	BCA	BCB	CAA	CAB	CBA	CBB	CCA	CCB
Comprimento (mm)	829	126	217	960	1659	1825	3140	480	829

Como as posições possíveis dos ressaltos são 256 (ou seja, 16 x 16), dividiu-se cada valor acima por 256, dando o incremento para cada mudança das posições. Os resultados foram colocados num banco de dados da planilha em Excel. Note que há algumas posições com mesmo comprimento de arame. Isso é devido à impossibilidade de se utilizar determinadas posições dos ressaltos de engate/desengate. Por exemplo, pode haver uma posição que irá resultar num corte concomitante à alimentação do material, isto é, o resalto de desengate pode estar após o camo de corte, sendo impossível tal operação. Para evitar-se isso, a planilha de

saída recomendará duas soluções possíveis, deixando a cargo do técnico a escolha da mais apropriada ao problema.

Ao final desses passos, conseguiu-se otimizar o tempo de regulação da máquina com relação ao comprimento da mola, eliminando o procedimento de "tentativa e erro" no processo. Além disso, integrou-se o setor de Vendas (Atendimento ao Cliente) com a Produção agilizando a passagem das informações para os técnicos.

- A seguir, será mostrado um exemplo do procedimento descrito acima.

Dados fornecidos:

O Cliente X telefona, mandando os seguintes dados para a confecção de 50.000 molas:

- ϕ externo = 10,25 mm.
- ϕ arame = 2,0 mm.
- N° espiras Totais = 17,5
- passo = 0 (espiras encostadas).

Preenchimento da planilha:

Após a consulta, a pessoa que atendeu o cliente preenche a planilha do Excel *Comp.xls* :

PLANILHA PARA CÁLCULO DO COMPRIMENTO DE ARAME NECESSÁRIO PARA A CONFEÇÃO DE UMA MOLA

Diâm. Médio		mm
Diâm. Ext.	10,25	mm
Diâm. Int.		mm
Diâm. Arame	2	mm
Nº Esp. Tot.	17,5	unid.
Nº Esp. Úteis		unid.
passo	0	mm
Compr. Mola		mm

Devem ser preenchidos, OBRIGATORIAMENTE, os campos:

*Diâm. Médio **ou** Ext. **ou** Interno.

*Diâm Arame

*Nº Esp. Tot. **ou** Úteis

*passo **ou** Compr. Mola

obs: a grandeza compr. é válida considerando mola de compressão.

aperte para saída

Comprimento de arame necess. → 453,6 mm

fig.X.3.e

Como a tela acima se presta somente para a entrada de dados e a informação do comprimento de arame necessário, é preciso apertar o botão *aperte para saída* para, automaticamente, gerar-se um bloco de informações a ser complementado com alguma informação pertinente e ser mandado para o técnico operador da máquina.

O formato da saída é o seguinte

BRASILMOL Ind. de Molas Ltda. certificado de produção Nº _____			
φ médio		Qtde.	
φ externo	10,25	φ arame	2
Comprimento		φ interno	
Nº espiras úteis		Passo	0
Nº espiras totais	17,5	Referência	
Carga		Flecha	
Material		Pedido Nº	
Marcha/pos1/pos2:	ACA1106		
Roleta / canal:	2 externo		
OBS:			

**PREENCHA
OS CAMPOS
ADICIONAIS
E
APERTE
PARA
IMPRIMIR**

fig. X.3.e

Ao apertar-se o botão da direita, este bloco é impresso e a planilha está pronta para ser alimentada com novos dados.

X.4. Regulagem do Diâmetro Externo da Mola

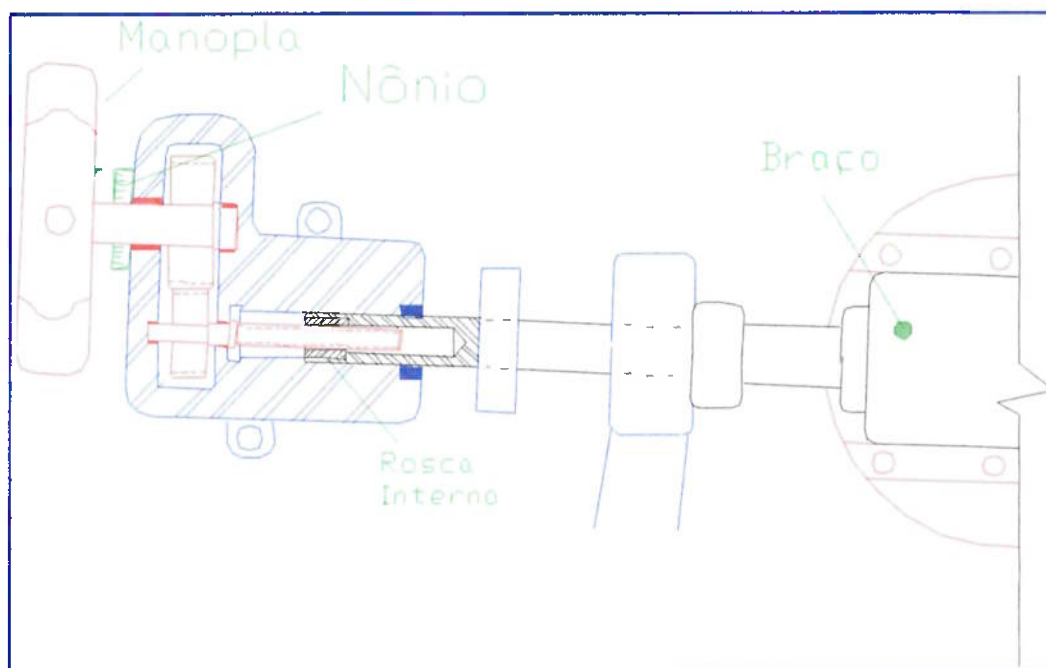


fig. X.4.a

X.4.1. Introdução

Conforme descrito anteriormente, a solução escolhida para o problema foi o manípulo com redutor, que pode ser visualizado esquematicamente acima. Seu funcionamento é simples: ao girarmos o manípulo, o torque é transmitido pelo par engrenado, girando o parafuso. Como este é fixo, a rosca interna se translada, no sentido de avanço ou de retorno, dependendo do sentido de giro do manípulo. Esta rosca interna (feita em bronze devido ao problema do atrito aço-aço), empurra o braço do encosto do arame, onde este é conformado.

X.4.2. Cálculo do esforço suportado pelo parafuso

O esforço principal para o dimensionamento do mecanismo é o esforço de dobra do arame, calculado a seguir. Fazendo-se uma analogia à determinação dos esforços num calandramento:

Segundo figura abaixo, o momento aplicado, M , vale $P \cdot d$, onde P é o esforço de dobra e d é o diâmetro do arame.

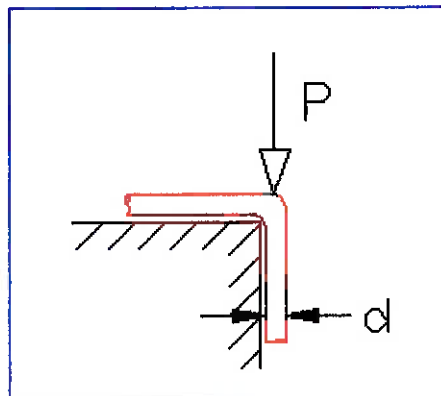


fig. X.4.b

Em Regime Elástico, $\sigma = \frac{M}{W}$, porém o fenômeno ocorre no regime Elasto-Plástico, portanto vale: $\sigma_{esc} = \frac{M}{S}$, onde S = módulo de resistência no Regime Elasto-Plástico. Para seções circulares, vale:

$$\bullet \quad W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}, \quad S = \frac{3W}{2} \quad \therefore \quad S = \frac{3 \cdot \pi \cdot d^3}{64}$$

- Para aços comumente usados para molas, ou seja SAE 1080, $\sigma_{esc} = 420 \text{ MPa}$.
- Para a máquina usada, $d_{\text{máx}} = 4,70 \text{ mm}$.

$$\text{Temos então: } P_{\text{max}} = \frac{3 \cdot \pi \cdot \sigma_{esc} \cdot d^2}{64} \text{ . Substituindo, } \underline{P_{\text{máx}} = 1366 \text{ N} \approx 140 \text{ kgf.}}$$

X.4.3. Dimensionamento do par Parafuso - Rosca Interna

A primeira etapa se refere ao tipo do parafuso a ser usado, isto é, reversível ou não. Como não é conveniente o deslocamento axial com a aplicação de uma força, não faz sentido escolher-se um parafuso reversível. Quanto ao tipo de rosca, costuma-se usar e é recomendado em *Manfê*⁴ um filete fortemente inclinado e a perfil com a mais fraca abertura angular possível (no limite, é preferível um filete a perfil quadrado). Logo, usa-

se o parafuso com rosca trapezoidal para essa aplicação. Este possui como seção axial um trapézio isósceles cujos lados formam um ângulo de 30° (vide figura a seguir). Utilizaremos a padronização dada pela TpN, isto é, filetes trapezoidais e normais (ainda há os TpG - filetes grossos, e os TpF - filetes finos).

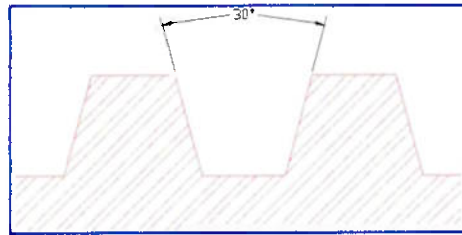


fig.X.4.c

A próxima etapa é relativa ao dimensionamento da seção transversal, submetida a tensões normais. Segundo Niemann ⁵, temos:

$$\sigma = \frac{F}{A} \leq \sigma_{ad} \quad , \text{ onde } \sigma_{ad} \sim 0,45 \cdot \sigma_{esc} \text{ (esta última relação é válida para parafuso de aço e}$$

porca de bronze)

Para parafusos de aço comum, $\sigma_{esc} = 21 \text{ kgf/mm}^2$, logo $\sigma_{ad} = 9,45 \text{ kgf/mm}^2$.

Para o valor de F dado anteriormente, isto é, 140 kgf, substituindo, chega-se a $A = 14,8 \text{ mm}^2$. Portanto, o diâmetro $d_i = 4,34 \text{ mm}$ (diâmetro do núcleo).

A próxima verificação é quanto ao critério de esmagamento dos filetes. Para isso, escolhe-se uma rosca padronizado com diâmetro do núcleo maior do que o calculado acima. O mais próximo é o de designação 10 TpN com:

Diâmetro nominal	10 mm
Diâmetro do núcleo	6,5 mm
Diâmetro médio	8,5 mm

A pressão superficial sobre a rosca é:

$$p = \frac{P}{i \cdot Ag} \leq p_{ad} \quad , \text{onde:}$$

- $p_{ad} = 0,5 \text{ kgf/mm}^2$ para parafuso com porca de bronze;
- $i = n^\circ$ de filetes contidos na porca;
- $Ag = \text{área de contato} = \pi \cdot d_m \cdot t_2$, com $t_2 = \text{profundidade portante do filete}$.

Para a rosca escolhida:

- h (passo): 3,0 mm
- t_2 : 0,75 mm
- d_m : 8,5 mm
- Ag : 20,03 mm²

Resolvendo $p = \frac{P}{i \cdot Ag}$, temos $i = 13,97$ filetes $\therefore i \sim 14$ filetes.

Como $i = m / h$, onde m é a altura da porca, $m = 42\text{mm}$, que é um valor muito grande comparado com o diâmetro nominal (10mm). O problema existente é a incerteza de termos a perfeita união entre as roscas do parafuso e da porca. Essa é a razão de termos para parafusos de fixação padronizados, o valor de $m = 0,8 \cdot d$. Logo, nesse caso, deve-se aumentar o diâmetro do parafuso, refazer os cálculos acima e verificar essa condição.

Escolhendo 14 TpN: • $i = 5$ filetes
• $m = 15\text{mm}$.

Escolhendo 16 TpN: • $i = 4$ filetes
• $m = 12\text{mm}$.

Portanto a rosca escolhida para o par *parafuso-porca interna* é a 16TpN, cujas características principais são:

Diâmetro nominal	16,0 mm
Diâmetro do núcleo	11,5 mm
Diâmetro médio	14,0 mm
h (passo)	4,0 mm

X.4.4. Esforços de acionamento

Em vazio, ou seja, sem existir arame no encosto, o esforço a ser aplicado no parafuso equivale à força de atrito estático do conjunto a ser deslocado, que é da ordem de 2 N. Como essa situação não interessa, pois o esforço deve ser dimensionado para a condição de operação, a força a ser vencida são os mesmos 140 kgf calculados no item II.4.2. Para o dimensionamento do torque de acionamento, seguimos a orientação de Niemann. O torque, no caso, vale:

- $M = P * r * \operatorname{tg}(\alpha + \rho)$, onde:

P = força calculada anteriormente (140 kgf)

$r = d_m / 2$

α = ângulo de hélice = $\operatorname{arctg}(p / \pi * d_m)$ = no caso, $5,20^\circ$

ρ = ângulo de atrito = $\operatorname{arctg}(\mu)$, onde $\mu = 0,1$, portanto = $5,71^\circ$

Substituindo os valores, temos $M = 189 \text{ kgf*mm}$. Considerando uma folga de ~10%, **$M=200\text{kgf*mm}$** . Este valor é o torque no parafuso, ainda não é o valor na manopla de acionamento pois temos a relação de transmissão das engrenagens, a serem calculadas na continuação.

X.4.5. Relação entre o Deslocamento Axial da Porca e a Rotação da Manopla

A relação entre o deslocamento em milímetros ('s') da porca e a rotação em graus (' ϕ ') da rosca do parafuso pode ser expressa como:

$$s = \frac{p \cdot \phi}{360}, \text{ onde } p \text{ é o passo da rosca (no caso, 4mm).}$$

Um valor aceitável para a relação entre a rotação da manopla e o deslocamento axial seria de $\pm 30^\circ$ para cada milímetro, ou seja, 3 vezes mais do que o eixo do parafuso oferece. O valor necessário é conseguido pela utilização de uma relação de transmissão entre o par engrenado igual a 3. Assim para cada 30° de giro da manopla, teremos 1mm de avanço do braço do encosto do arame, isto é, de diminuição (ou aumento) do diâmetro externo da mola.

Com essa relação de transmissão, o momento torçor na manopla chega a $200 \cdot i =$ **600 kgf*mm.**

Considerando uma manopla com diâmetro de 120mm, ou seja, de um tamanho tal que, com a mão aberta, um adulto possa facilmente acioná-la, a força exercida para o acionamento do sistema é de 10kgf, que é um valor aceitável para trabalho não-contínuo (segundo Stipkovic).

A marcação dos graus será feita com um nônio graduado na carcaça do mecanismo, de maneira equivalente aos existentes em um torno para marcação do avanço da ferramenta.

X.4.6. Cálculo das Engrenagens

Dimensionando o par engrenado, Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos. Usando a fórmula do volume mínimo, tem-se:

$$\bullet \quad B \cdot d^2 = \frac{K \cdot M_t \cdot \phi \cdot f(i)}{P_{adm}^2}, \text{ onde:}$$

- B é a largura do pinhão;
- d é o diâmetro primitivo do pinhão;
- K é o fator relacionado ao tipo de engrenagem, no caso $K = 4,576 \cdot 10^6$;
- M_t é o momento torçor atuante;
- ϕ é o fator de serviço, no caso = 1;
- $f(i)$ é o fator da relação de transmissão, vale $(i + 1) / (i + 0,14)$;
- P_{adm} = Pressão de Contato admissível para a rotação e o material usados, no caso, aço carbono comum ABNT 1020 e rotação quase nula (abaixo de 50 rpm), vale 7300 kgf/cm^2 .

Substituindo os valores, chega-se a $B \cdot d^2 = 2,186$. Utilizando a relação $B/d = 1$ (para par em balanço), chega-se a $d = 1,29 \text{ cm}$. Aumentando este valor para 15 mm e usando 12 dentes para o pinhão, tem-se:

- módulo = d / z , onde z é o número de dentes = 1,25.

O valor achado é um valor padronizado, portanto:

DADOS FINAIS:

Material usado no par:	ABNT 1020	Diâmetro do pinhão (d):	15 mm
Relação de Transmissão:	3:1	Diâmetro da coroa (D):	45 mm
módulo:	1.25 mm	Largura das engrenagens:	15 mm
adendo (ad):	1.25 mm	Número de dentes do pinhão (z):	12
dedendo (dd):	1.3 mm	Número de dentes da coroa (Z):	36

X.5. Regulagem da Aresta de Corte

A solução a ser desenvolvida é o deslocamento lateral do porta ferramenta, permitindo ao técnico ajustar a folga necessária ao corte, sem retirar a ferramenta para a sua afiação.

A forma construtiva do porta ferramenta, já apresentada esquematicamente na primeira parte deste trabalho, pode ser revista a seguir:

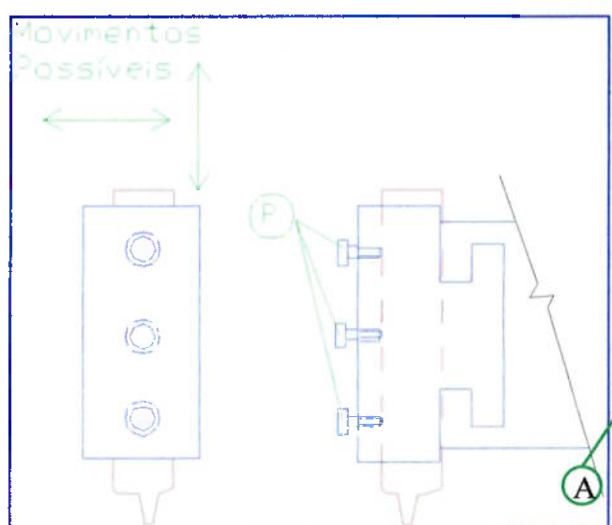


fig. X.5.a

Os três parafusos P fixam a ferramenta, forçando-a contra a placa A. Quando há a necessidade de movimentação (vertical ou horizontal), desaperta-se os parafusos, faz-se as movimentações e aperta-se os parafusos novamente. O dimensionamento deve ser feito para o porta-ferramenta, mediante os esforços atuantes na estrutura (devido à força de corte F_c), com relação às seções resistentes.

- Cálculo da força de Corte:

A teoria aplicada no cálculo da força de corte do arame é a teoria das facas paralelas. Conforme visto no 1º semestre, o fenômeno pode ser esquematizado conforme figura a seguir:

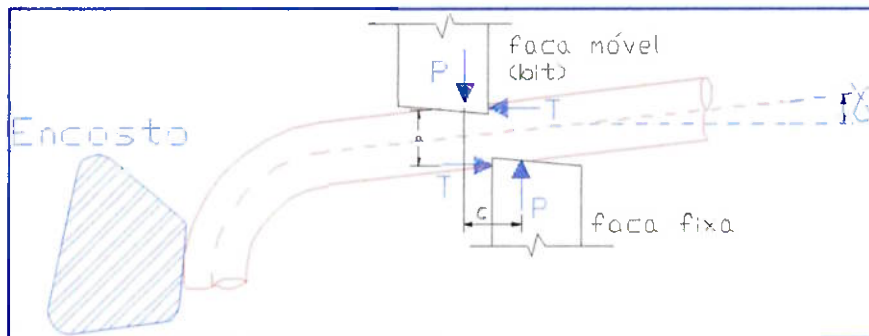


fig. X.5.b

A força de corte P pode ser calculada de acordo com a fórmula: $P = K_c \cdot A$, onde:

- K_c = Resistência ao corte, valor que varia com o material e temperatura, valendo para o aço nas condições do corte, $500 \text{ kgf} / \text{cm}^2$.
- A = Área da seção transversal. Para o caso mais crítico estudado, isto é, de arame com $4,7\text{mm}$ de diâmetro, $A = 0,174 \text{ cm}^2$.

Portanto, temos o valor máximo de P igual a 86 kgf , que colocando-se uma folga de 15% (devido a diferenças de composição de aço e variações de temperatura), consideraremos $P=100 \text{ kgf}$.

- Dimensionamento da Peça Porta- Ferramenta

O critério para o projeto da peça porta-ferramenta foi a limitação de espaço. Logo, as dimensões utilizadas obedeceram ao espaço disponível na máquina para a montagem e funcionamento. Deve-se utilizar o esforço de corte calculado no item anterior para verificação das tensões admissíveis.

A peça será feita com aço ABNT 4340, cuja tensão de escoamento vale $\sigma_{esc} = 1170 \text{ MPa}$. Um croqui da peça pode ser visto a seguir e servirá de base para a verificação das seções resistentes:

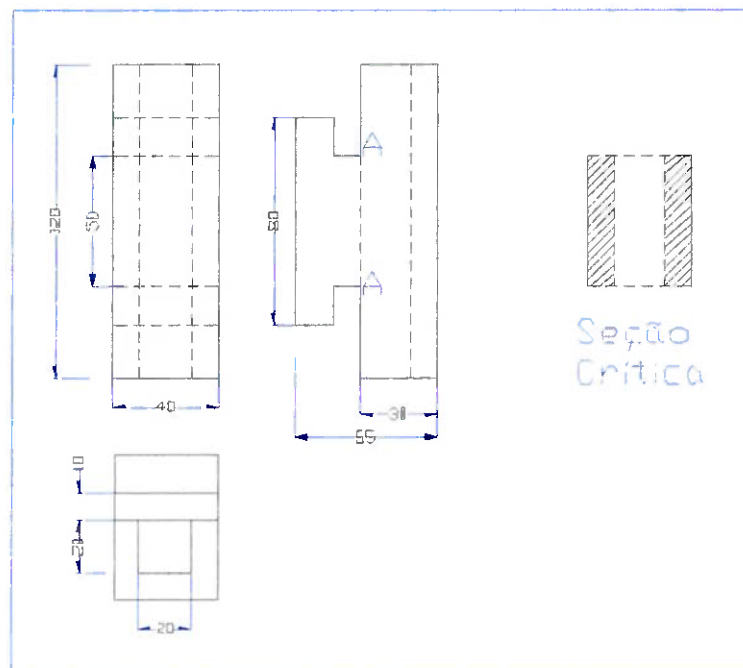


fig.X.5.c

As verificações feitas a seguir serão sempre com relação às medidas listadas na figura acima. A carga P será concentrada no centro da ferramenta (bit). A seção crítica é a identificada com as letra AA. Ela será calculada como se estivesse engastada, sem levar em consideração as outras restrições da peça (o que simplifica os cálculos e ainda está a favor da segurança). Caso a tensão atuante seja maior que a admissível, deve-se rever tais hipóteses, refinando a análise para uma segunda verificação.

Têm-se : $P = 100 \text{ kgf} = 981 \text{ N}$.

- Para os esforços de flexão:

Ponto crítico: extremidade da peça.

Momento máximo, $M_{\text{máx}} = 981 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}$.

Módulo de Resistência, $W = 2 \cdot \left(\frac{b \cdot h^2}{6} \right)$, com $b = 10 \text{ mm}$ e $h = 50 \text{ mm}$.

Substituindo os valores, chega-se a $\sigma_{\text{flexão}} = M_{\text{máx}} / W = 0,058 \text{ MPa}$, um valor baixo devido, principalmente às grandezas das distâncias envolvidas (logo, pequenos braços de momento). Esta é a razão de nem mesmo introduzir um coeficiente devido ao

impacto da ferramenta. A análise será feita apenas pela tensão de cisalhamento causada pela força cortante:

- Para os esforços de cisalhamento:

Ponto crítico: linha neutra da seção analisada.

Valor máximo, $\tau_{\text{máx}} = 3 / 2 * P / S$, sendo S a área da seção = $2 * 10 \times 50 \text{ mm}^2$.

Substituindo os valores, têm-se $\tau_{\text{máx}} = 14,7 \text{ MPa}$.

Como $\tau_{\text{máx}} < \sigma_{\text{esc}}$, a seção está verificada.

XI. ANÁLISE ECONÔMICA

Uma análise econômica, relativa ao lucro obtido ou ao tempo necessário para recuperação do investimento feito, depende de vários fatores:

- Tipo de mola a ser fabricada:

De acordo com a característica construtiva da mola, tem-se maior ou menor tempo gasto, tanto na fabricação como no *set up*. Pode-se comparar, por exemplo, uma mola utilizada por empresas de desentupimento (passo igual a zero, comprimento “infinito”) com uma mola de compressão, com passo variado, comprimento determinado e que deverá sofrer processo de retificação após a fabricação. As melhorias implementadas serão sentidas muito mais no segundo tipo de mola do que no primeiro.

- Quantidade a ser fabricada:

Devido à rapidez de fabricação na máquina, quanto maior for a quantidade, mais rapidamente o custo do tempo de *set up* é diluído, logo para quantidades menores, as melhorias implementadas serão mais sentidas.

- Repetição do pedido:

Se a mola consistir em um pedido já realizado anteriormente e que deve ser tornar um pedido periódico, as informações utilizadas podem ser armazenadas, constituindo um banco de dados de consulta.

Devido à existência de tantas variáveis a serem analisadas, preferiu-se dar uma ênfase diferente da usual (como diagrama de *break-even point* ou lucro corrigido ao longo do tempo).

O que deve ser levado em conta aqui é que todas as modificações sugeridas levam a uma melhoria, ou de organização ou de tempo gasto ou ainda de diminuição direta de custos. Algumas das melhorias não implicam em custos à empresa (como a organização dos roletes ou a planilha de cálculo de comprimento de arame), podendo ser implementadas, mesmo numa situação desfavorável no mercado. Caso seja escolhida a

não utilização das alternativas onerosas, pode-se escolher as outras e , à medida que a situação financeira da empresa mudar, ou quando o mercado exigir, seria implementado o resto do projeto, pois cada alternativa independe de outra.

XII. BIBLIOGRAFIA

1. WAHL, A. M. **Mechanical Springs**. 2. ed. New York, McGraw-Hill, 1963.
2. PROVENZA, F. **Molas**. São Paulo, editora Pro-tec, 1991.
3. SHIGLEY, J. E. ; MISCHKE, C. R. **Mechanical Engineering Design**. 5. ed. Singapore, McGraw-Hill, 1989.
4. MANFÉ, G. ; POZZA, R. ; SCARATO, G. **Desenho Técnico Mecânico: curso completo**. tradução de Carlos Lauand, 5.ed., S.L. , Hemus.
5. NIEMAN, G. **Elementos de máquinas**. São Paulo - Edgard Blucher, 1971