

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA MECÂNICA

ADRIANO MARQUES FERNANDES

**REPROJETO APLICADO A UMA ENVASADORA DE LÍQUIDOS DE UMA
INDÚSTRIA FARMACÊUTICA**

Varginha - MG

2011

Grupo Educacional UNIS

FEPESMIG

ADRIANO MARQUES FERNANDES

**REPROJETO APLICADO A UMA ENVASADORA DE LÍQUIDOS DE UMA
INDÚSTRIA FARMACÊUTICA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel, sob orientação do prof. Ms Alexandre Lopes.

Varginha - MG

2011

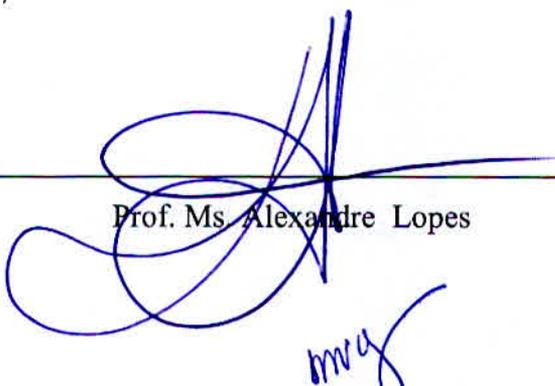
FEPESMIG

ADRIANO MARQUES FERNANDES

**REPROJETO APLICADO A UMA ENVASADORA DE LÍQUIDOS DE UMA
INDÚSTRIA FARMACÊUTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro
Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG,
como pré-requisito para obtenção do grau de
bacharel pela Banca Examinadora composta
pelos membros:

Aprovado em / /



Prof. Ms. Alexandre Lopes



Prof. Ms. Luiz Carlos Vieira Guedes

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por ter me guiado durante todo esse período, à minha família, namorada e amigos pelo incentivo e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram a elaborar este trabalho, principalmente à minha família, namorada, amigos e aos professores pelo conhecimento transmitido que foi aplicado no cotidiano.

“A imaginação é mais importante que o conhecimento”

Albert Einstein

RESUMO

Uma das missões do engenheiro é encontrar soluções para os problemas técnicos com vistas à melhoria contínua de um processo ou de uma máquina. Assim ele se fundamenta em vários condicionantes que envolvem materiais, tecnologia, segurança, custos, dentre outros. Os resultados finais precisam atender os objetivos pré-fixados. O estudo de caso deste trabalho foi desenvolvido em uma máquina envasadora de líquidos de uma indústria farmacêutica, a qual foi implementado um sistema a fim de aumentar a segurança e produtividade da máquina, diminuir as paradas por manutenção, dentre outros. A solução foi baseada em reprojeto e seus tipos, planos de execução e critérios que possibilitam a tomada de decisão para o mesmo. Foram estudadas as hipóteses para a sua realização objetivando a diminuição das tensões no sistema, aumento da segurança e produtividade, autonomia operacional e independência da intervenção da manutenção para o restabelecimento da produção e por fim foi levantada a viabilidade econômica com um dos critérios para a sua realização.

Palavras-chave: Reprojeto. Acoplamento de Segurança.

ABSTRACT

One of the tasks of the engineer is to find solutions to technical problems with the aim of continuous improvement of a process or a machine. Therefore, he based himself on several conditions involving materials, technology, safety, cost and others. The results must meet the goals set before. The case study of this work was developed in a liquid filler machine of a pharmaceutical company that has implemented a system to increase safety and productivity of the machine, reduce downtime for maintenance and others. The solution was based on redesign and their types, execution plans and decision criteria to this one. It was studied all aspects of its realization like reduction of system tensions, increased security and productivity, operational autonomy and independence of the maintenance intervention for the restoration of the production and finally it was showed the economic viability as one of the criteria for the implementation of this work.

Keywords: *Redesign. Coupling Security.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Curva da Banheira de Falhas.	15
Figura 02: Modelo por elementos finitos das tensões no contato.....	16
Figura 03: Máquina envasadora rotativa de líquidos semi-automática.....	22
Figura 04: Máquina e suas partes principais	23
Figura 05: Disco principal do equipamento	25
Figura 06: Cruz de Malta e excêntrico montados, antes da reforma	32
Figura 07: Acoplamentos associados como base para a solução do problema	35
Figura 08: Parte do acoplamento de segurança que aloja as esferas, desenhado no programa SolidWorks.....	36
Figura 09: Seção em corte mostrando posição de ação da força sobre a esfera, desenhado no SolidWorks.....	37
Figura 10: Parte de encaixe do acoplamento desenhado no SolidWorks.....	38
Figura 11: Vista frontal do novo sistema em fase de projeto desenhada no programa AutoCAD.....	39
Figura 12: Vista explodida do reprojeto antes (acima) e depois (abaixo) desenhada no AutoCAD.....	40
Figura 13: Sistemas montados antes e depois da melhoria.	40
Figura 14: Engrenagens de transmissão antes e depois do reprojeto com o mesmo tempo de uso.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Horas programadas para produção em cada mês de estudo X Tempo de máquina parada.....	41
Tabela 02 - Tempo Planejado X Tempo Real.	43
Tabela 03 - Comparação de Custos em 4 anos com Substituição de Peças: Sistema Antigo X Sistema Novo.....	46
Tabela 04 - Custos acumulados: Sistema Antigo X Sistema Novo.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01: Tempo programado para produção X Tempo de parada não programada	42
Gráfico 02: Porcentagem de parada não programada da máquina.	42
Gráfico 03: Disponibilidade da máquina para a produção	44
Gráfico 04: Comparação de custos com substituição de peças entre os dois sistemas	46
Gráfico 05: Custos acumulados do sistema antigo x sistema novo para facilitar a análise de viabilidade	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REPROJETO.....	13
2.1 Conceito	13
2.2 Tipos de Projeto	13
2.3 Falhas em Projetos	14
2.3.1 Falhas em Engrenagens de Transmissão	16
2.4 Critérios de Decisão para o Reprojetor.....	17
2.4.1 Segurança	17
2.4.2 Produtividade.....	19
2.4.3 Autonomia Operacional.....	19
2.4.4 Custos com Manutenção.....	19
2.5 Plano de Trabalho	20
3 A MÁQUINA	20
3.1 Tipos de Máquinas de Envase	21
3.1.1 Envasadora Rotativa	21
3.1.1.1 Partes da máquina.....	22
4 ENGENHARIA APLICADA AO REPROJETO	24
4.1 Estudo dos Esforços.....	24
4.2 Definição dos Materiais.....	26
4.3 Determinação da Chaveta Retangular	27
4.4 Determinação do Rolamento	28
4.3.1 Cargas em Rolamentos	29
4.3.2 Relação entre Carga e Vida	29
4.5 Determinação da Mola	31
5 PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO	32
5.1 Primeira Hipótese para Solução do Problema.....	32
5.2 Segunda Hipótese.....	33
5.2.1 Associação dos Tipos de Acoplamentos	34
5.2.2 Acoplamento de Segurança com Quatro Esferas	35
5.2.2.1 Parte de Contato do Acoplamento de segurança	37
5.3 Reprojetor Finalizado	39
6 RESULTADOS	41
6.1 Diminuição do Tempo de Parada Não Programada por Manutenção	41
6.2 Aumento da Disponibilidade da Máquina	43
6.3 Redução das Tensões nas Engrenagens de Transmissão	44
6.4 Análise dos Custos	45
7 CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Entre os diversos métodos para se melhorar a eficiência das máquinas e equipamentos das indústrias em geral, o reprojeto de máquinas é, em vários casos, a solução escolhida pela empresa na tentativa de melhorar suas condições em vez de continuar executando as manutenções com paradas significativas na produção.

Esse trabalho será sobre a resolução de um problema de uma máquina envasadora de líquidos de uma indústria farmacêutica onde foi realizado um estudo de caso baseado em reprojeto e seus tipos, planos de execução e critérios que possibilitam a tomada de decisão para o mesmo. Quando o reprojeto não é total, que é o caso deste, o processo de realização se torna mais dedicado e o estudo e acompanhamento prévio da máquina são de extrema importância para a obtenção de um resultado satisfatório.

A máquina de estudo não possuía um sistema que previsse alguma avaria no processo de produção e parasse a máquina como medida de segurança para a sua estrutura e, principalmente para os operadores. Devido ao entrave das paradas frequentes, o bom funcionamento do processo era impossibilitado acarretando em consequências, tais como:

- Risco de acidente;
- Baixa disponibilidade da máquina;
- Parada de produção;
- Custos com manutenção;
- Baixa confiabilidade da equipe de manutenção.

Para a solução foi necessário à implementação de reprojeto baseado em elementos de máquinas de transmissão onde foram associados dois sistemas para que a solução do problema fosse possível. Além da eliminação falhas e paradas por manutenção, a melhoria teve outros objetivos, tais como:

- Aumento da produção e eficiência da máquina;
- Diminuição do esforço nos elementos de transmissão como engrenagens e consequente aumento da vida útil;
- Aumento da segurança da máquina;

- Autonomia operacional, pois o restabelecimento da produção se tornou possível pela intervenção simples do operador, não necessitando mais de serviços especializados do pessoal da manutenção.

2 REPROJETO

2.1 Conceito

Para Pahl, et al (2005) projetar se trata de um processo de otimização com objetivos pré-determinados segundo uma atividade intelectual, criativa e que necessita de uma base segura de conhecimentos nas áreas de matemática, física, química, mecânica, termodinâmica, mecânica dos fluidos, eletrotécnica, resistência dos materiais, ciência dos materiais, etc.

Segundo Almeida (2005) o prefixo “re” tem sua origem do latim com o significado de repetição ou reforço. Desta forma, a palavra tem o significado de repetição ou reforço do ato de projetar com o objetivo de reforçar as medidas a fim de alcançar objetivos definidos no conceito do trabalho. Assim o reprojeto acaba por ser uma ação que está contida dentro do projeto por se tratar das constantes repetições que o projetista toma antes de concluir seu trabalho.

2.2 Tipos de Projeto

Stemmer (1982) apresenta uma classificação para o projeto que leva em consideração o nível de dificuldade para a execução. São eles:

- **Execução Original**, que é a tarefa mais difícil e complexa, reservada apenas aos engenheiros projetistas mais inteligentes e talentosos. Ex.: Máquina a vapor, locomotiva, automóvel, avião, entre outros;
- **Aperfeiçoamento**, que é a tarefa que procura um preenchimento mais perfeito da função de eliminação de falhas e melhoria da construção, apesar de partir de um

modelo, o resultado final pode diferenciar-se muito dele. Exige bom preparo e profundos conhecimentos;

- **Adaptação**, que se trata da tarefa projetista mais usual, onde são realizadas pequenas modificações numa construção para atender as exigências especiais do comprador;
- **Novas Construções**, que consistem no aproveitamento de uma construção original, porém para outras finalidades, outros materiais ou outros sistemas de fabricação. Ex: O torno comum no qual foram implantadas diversas novas construções: o torno de placa, o torno revolver, o torno copiador, entre outros.

2.3 Falhas em Projetos

As falhas em máquinas podem ter seu índice aumentado como resultado de um projeto mal modelado, falta de manutenção ou especificação inadequada da máquina para o processo. Segundo Stemmer (1982, p. 5), falhas em máquinas são “[...] na maioria das vezes são devido à falta de estudo das exigências e insuficiente formulação do problema construtivo”.

Segundo Nepomuceno(2002, p. 61), “uma falha é qualquer enguiço num sistema ou circuito que permanece até que sejam tomadas providências corretivas”.

No caso específico da máquina deste estudo, os motivos mais relevantes que levam à parada de produção são:

- A relação geometria do material x capacidade da máquina não é adequada, pois certos frascos de formato achatado sendo que a máquina não é adequada para esse tipo de produto, o que aumenta a possibilidade de falhas no processo;
- Desvios na regulagem da máquina, pois dependendo do tipo de frasco os parâmetros de regulagem são mais rígidos, o que exige maior perícia e tempo de regulagem;
- Fator humano, esse é uma questão mais difícil, pois durante o processo de produção o operador deve executar várias tarefas auxiliares devido à máquina ser semi-automática e dependendo do estado físico e emocional, é difícil esperar que as atividades sejam executadas sempre com atenção.

Segundo Nepomuceno (2002, p. 60) a operação de máquinas deficiente é descrita como:

O funcionamento de um sistema qualquer é considerado deficiente, ou “enguiço”, quando existe uma ocorrência qualquer que leve o sistema a interromper a execução da missão que lhe é destinada, ou ainda quando um circuito deixa de executar sua função.

Segundo Kardec, Nascif (2001) a taxa de falhas apresenta uma típica curva característica da vida de um produto, equipamento ou sistema.

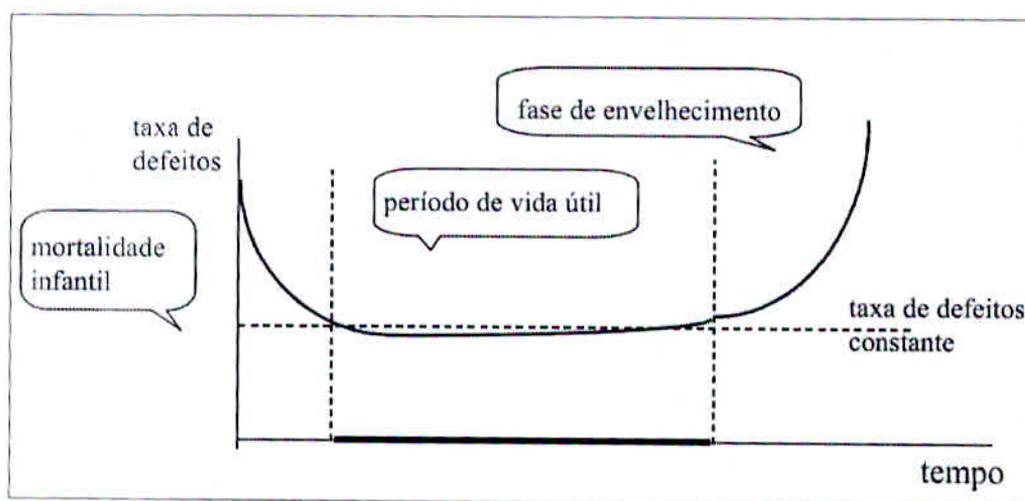


Figura 01: Curva da Banheira de Falhas. Fonte: Kardec, Nascif (2001).

A curva da figura mostrada é também conhecida como curva da banheira, pelo seu formato.

Tem três períodos distintos:

- **Mortalidade Infantil** – Há grande incidência de falhas causadas por componentes com defeito de fabricação ou deficiências de projeto. Também há a incidências nessa fase os problemas de instalação;
- **Vida Útil** – A taxa de falhas é sensivelmente menor e relativamente constante ao longo do tempo. A ocorrência de falhas nesse período é mais difícil de prever por estarem associadas a fatores menos controláveis como fadiga ou corrosão devido à interação do material como meio;
- **Envelhecimento ou Degradação** – Há um aumento na taxa de falhas decorrente do desgaste natural, que será tanto maior com o passar do tempo.

2.3.1 Falhas em Engrenagens de Transmissão

Segundo Freitas (2010) as engrenagens tem a possibilidade de falhar por dois tipos de solicitação:

- A que ocorre no contato dos dentes, devido à tensão normal;
- E a que ocorre no pé do dente, devido à flexão causada pela carga transmitida.

A fadiga no pé do dente causa a quebra do dente, caso o projeto tiver sido bem dimensionado, essa é mais difícil de ocorrer. Geralmente o que ocorre primeiro é a falha por fadiga de contato. A figura 02 mostra um modelo por elementos finitos das tensões no contato. A parte que tende ao vermelho mostra as maiores tensões em magnitude e a parte em azul, as menores.

As tensões são maiores nesse ponto devido ser o ponto de contato das engrenagens em que o deslizamento entre os dentes é zero dificultando que o lubrificante forma uma camada efetiva nessa região do diâmetro primitivo.

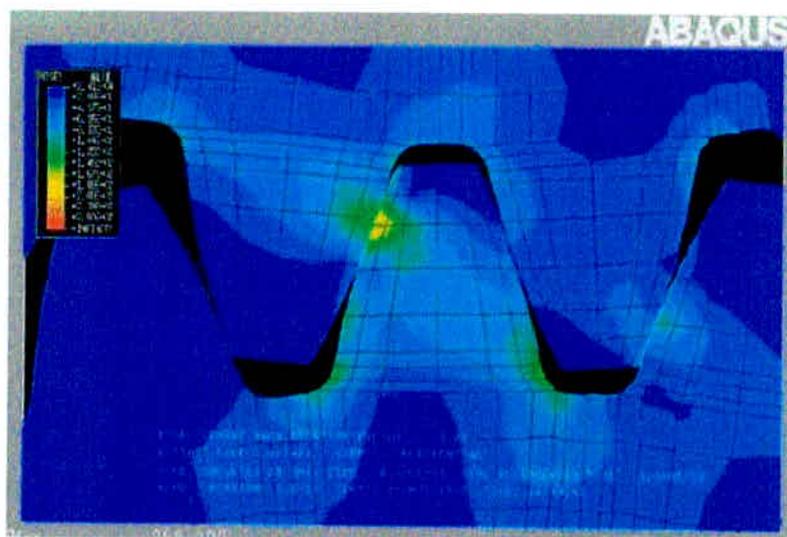


Figura 02: Modelo por elementos finitos das tensões no contato.
Fonte: Freitas (2010).

2.4 Critérios de Decisão para o Reprojeto

A definição dos meios de decisão é de fundamental importância para a obtenção de sucesso em uma ação de reprojeto. Esses critérios constituem uma parte decisiva no processo de opção para o reprojeto.

Considerando ainda fatores práticos como a amplitude de tecnologias aplicadas, o grau e a quantidade de atributos relacionados à natureza dos equipamentos mecânicos, são apontados certos atributos, tais como:

- Segurança;
- Produtividade;
- Autonomia operacional;
- Custos com manutenção.

2.4.1 Segurança

É crescente a preocupação das empresas com a segurança de seus colaboradores e de suas instalações. As grandes empresas consideram a segurança posicionada no mesmo patamar da produção e da qualidade.

Segundo Siqueira (2005), o setor de manutenção tem como estratégia efetiva evitar ou reduzir as consequências significantes das falhas, principalmente se comprometer a segurança e a operação do processo. Para a redução das falhas e quebras diversas, o mantenedor¹ poderá optar por realizar diversas atividades, tais como:

- Inspeção que é considerada efetiva e baixo custo devido não substituir nenhum componente do equipamento e pode ser realizado com o mesmo em trabalho ou parado, dependendo da análise. Esse tipo de atividade é realizado visualmente ou com uso de aparelhos de análise a fim de prever futuras falhas e que se possa agir antes. A inspeção é considerada uma importante ferramenta para o setor de manutenção;

¹ Colaborador área de manutenção elétrica, mecânica ou eletrônica.

- Manutenção preventiva é a manutenção que pode ou parar a produção de uma maneira programada, tem o objetivo de limitar ou atrasar o envelhecimento da máquina, eliminar ou reduzir os riscos de falhas em máquinas chave que no corre o risco de perda do produto devido a um tempo maior para reparo, possibilitar a diminuição dos trabalhos por parada não programada, entre outros;
- Manutenção preditiva tem como objetivo acompanhar os parâmetros da máquina, levantados por instrumentos específicos durante as inspeções. O importante é detectar as variações desses parâmetros com tempo hábil para que se possa estar programando uma parada de máquina e realizando a manutenção;
- Evidentemente, quando nenhuma dessas atividades for aplicável e efetiva, a opção será a mudança de projeto da máquina buscando na engenharia opções para a eliminação dessa falha. Portanto, deve-se optar por uma mudança de projeto quando houver uma ameaça à segurança física do trabalhador ou ao meio ambiente.

Segundo Lida (2005), existe duas classes de medidas para aumentar a segurança na operação de máquinas:

- Aquelas que atuam na máquina;
- Aquelas que atuam no homem.

A primeira, mais eficaz, deve ser considerada como medida de primeira ordem e ocorre na fase de projeto de modo a eliminar os pontos perigosos. Pode-se construir, caso seja possível, um isolamento ou proteção de modo a evitar o contato do operador com partes móveis da máquina.

A segunda deve sempre ser considerada após a impossibilidade de reprojeto da máquina. As pessoas, apesar de serem treinadas e saberem dos riscos inerentes ao processo, apresentam variações de comportamento e é difícil de esperar que sempre estejam atentas e vigilantes com a prática de atos seguros. A primeira ação é afastar o colaborador das partes perigosas, caso isso não for possível, é recomendado o uso de IPIs, caso aplicável para o processo e como último recurso.

2.4.2 Produtividade

O aumento da produtividade também será outro fator de relevância nesse reprojeto. É sempre bem visto por qualquer empresa o melhoramento de uma máquina ou um processo com consequências diretas no aumento da produtividade da máquina.

A produtividade tem como um fator mensurável direto o Índice de Disponibilidade apontado pelos estudos de Eficiência Global de Equipamento, realizados em empresa onde foi realizado o estudo. Analisar a disponibilidade da máquina de estudo foi uma questão mais acessível por questões números, por estar ligada diretamente a qualquer parada não programada e, enfim, por implicar no resultado do índice de produtividade.

Segundo Kardec, Nascif (2001, p. 103), a “Disponibilidade é a relação entre o tempo em que o equipamento ou instalação ficou disponível para produzir em relação ao tempo total”.

2.4.3 Autonomia Operacional

Outro critério para a opção por reprojeto se baseou na proposta em que o próprio operador pode recolocar o disco em sua devida posição, retornando assim à produção. Esse reprojeto será voltado, utilizando soluções da engenharia, em implementar um dispositivo acoplado ao sistema de transmissão da máquina que possibilitará o desligamento automático, caso seja necessário. Então, o operador poderá reativar a operação da máquina movimentando o disco principal.

2.4.4 Custos com Manutenção

A diminuição de custos é uma questão sempre bem vinda e almejada por qualquer setor de uma empresa. Além dos custos com mão de obra especializada da equipe de manutenção, as peças de reposição consomem grande parte do orçamento mensal do setor.

Os atendimentos de emergência não bem quistos tanto por parte do setor de manutenção bem como por parte da produção, acarretando tensões e cobranças na equipe de manutenção.

2.5 Plano de Trabalho

Para a execução de um trabalho de projeto é sempre importante determinar um plano de trabalho e , caso necessário, discriminar essas atividades em um cronograma.

Stemmer (1982) estabelece as seguintes etapas que podem facilitar o desenvolvimento de um projeto ou de um reprojeto:

- Definição exata do trabalho, determinação das condições de serviço e esclarecimento de todos os problemas correlatados;
- Estudo das soluções possíveis que pode ser através de representações esquemáticas e escolha da melhor solução;
- Seleção do material mais apropriado;
- Estudo dos problemas de execução;
- Conformação adequada;
- Determinação do custo.

3 A MÁQUINA

Diversos são os tipos de máquinas usadas em uma indústria. No caso de máquinas de uma indústria farmacêutica, dependendo do produto final obtido, sólido, líquido, semissólido, etc.

As Envasadoras são máquinas utilizadas no processo de produção de produtos líquidos.

3.1 Tipos de Máquinas de Envase

As máquinas de envase, quanto ao sistema de funcionamento, podem se dividir basicamente em:

- Lineares;
- Rotativas.

A primeira o fluxo de produção é em linha reta, ou seja, os frascos são colocados em uma esteira e são conduzidos à estação de envase onde os frascos são posicionados para que o envase seja preciso. Após os frascos são conduzidos pela mesma esteira para a estação de fechamento onde é colocado a tampa e fechados.

A segunda funciona de forma rotativa em duas etapas: na primeira etapa os frascos são colocados manualmente em um disco rotativo com cavidades, que em movimentos intermitentes², rotaciona até a estação de envase onde o líquido é injetado dentro dos frascos, através de pistões que fazem a transferência do produto do tanque para os frascos. Então, o disco rotaciona novamente chegando à estação de fechamento onde os frascos são rosqueados até a perfeita vedação.

3.1.1 Envasadora Rotativa

Máquina do estudo, envasadora rotativa de quatro bicos, é uma variação dos tipos de máquinas de envase usadas pelas indústrias. Esse tipo já foi muito utilizado pelas indústrias há cerca de 10 anos atrás, por ser basicamente mecânica. Devido à modernização e demanda por máquinas mais produtivas e seguras, a automação vem tomando conta do mercado e as máquinas estão cada vez mais independentes de sincronismos mecânicos, sendo substituídos, por exemplo, por Controle Lógico Programável (CLP)³.

² São movimentos em que uma parte qualquer de uma máquina funciona e pára com a finalidade, nessa etapa, de realizar atividades importantes no processo, por exemplo, colocação dos frascos e tampas, envase e rosqueamento dos frascos.

³ Sistema eletrônico que controla uma máquina ou parte dela através de um programa pré-estabelecido.

As empresas também procuram ter máquinas de rápida troca de formato e limpeza de forma a atender produtos em que seus lotes são em menores quantidades, sendo assim a rotatividade de produtos é grande e uma máquina de alta produção pode ser inviável. Essa operação se torna mais rápida de ser realizada em máquinas menores.

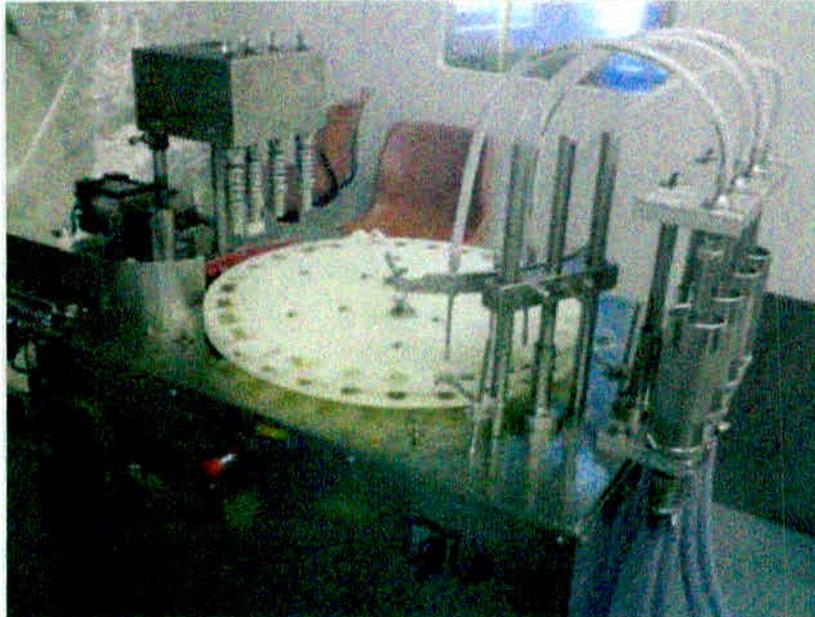


Figura 03: Máquina envasadora rotativa de líquidos semiautomática.
Fonte: O Autor

Essa máquina necessita do auxílio de 3 trabalhadores que ficam constantemente em operação: uma pessoa que coloca os frascos nas cavidades do disco e outras duas, de frente a esta, que colocam o conta-gotas e a tampa.

A produção dessa máquina é de 70 frascos por minuto, sendo 8 horas de produção por turno e dois turnos, o que totaliza no dia uma produção de 52800 frascos, mas isso se a máquina não parar por nenhum momento durante o processo, sendo muito difícil.

3.1.1.1 Partes da máquina

É constituída por partes comuns a todos os tipos de máquinas e por ser rotativa a mesma possui um sistema para girar o disco principal de forma intermitente. Através da figura abaixo é possível visualizar suas partes conforme identificação:

- Redutor de velocidade (R);
- Correia (S);
- Eixos (B);
- Engrenagens Cônicas (Q);
- Disco rotativo com cavidades onde são colocados os frascos (O);
- Motor (P);
- Sistema de rotação intermitente composto por excêntrico⁴ (N) e cruz de malta⁵ (M).

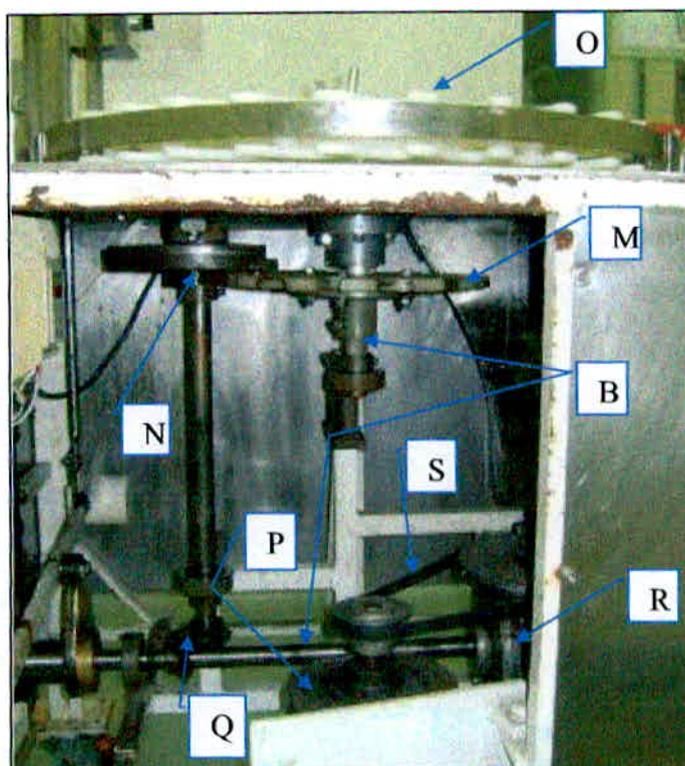


Figura 04: Máquina e suas partes principais. Fonte: O autor.

⁴ Peça com seu centro deslocado e tem seu formato de acordo com a cavidade da cruz de malta onde é encaixada.

⁵ Peça de máquina com formato de um disco com cavidades igualmente espaçadas onde se encaixa o excêntrico.

4 ENGENHARIA APLICADA AO REPROJETO

4.1 Estudo dos Esforços

O torque necessário para realizar o movimento rotacional no disco pode ser obtido com base na fórmula de Faires (1971):

$$T = F.d$$

Onde,

T = torque do sistema;

F = força aplicada;

d = distância que a força foi aplicada. A força e o braço de alavanca da força têm que formar um ângulo de 90°, caso isso não aconteça é necessário realizar a decomposição de forças. Nesse caso, devido ao modo construtivo da máquina, a condição do ângulo reto será sempre atendida em todas as condições de trabalho e possíveis falhas durante o processo de produção.

Segundo Melkonian (2008) outro ponto interessante a ser considerado é a força de atrito que depende de várias variáveis como: temperatura, material, acabamento, lubrificação, estático ou dinâmico. No entanto, como esse projeto terá uma mola de compressão montada no conjunto, então a força de atrito pode ser ajustada através da compressão da mola, já que se trata de uma relação proporcionalmente direta.

A próxima figura mostra o disco principal da máquina envasadora rotativa.



Figura 05: Disco principal do equipamento. Fonte: O autor.

Esse disco principal tem um raio de 300 mm com 28 cavidades onde são colocados os frascos durante o processo de produção. Desses 28 frascos, 23 estão completamente cheios, e considerando o volume do maior frasco, obtêm-se a força peso que a máquina constantemente arrasta durante o funcionamento.

Segundo Streeter (1982), para a obtenção do peso do líquido pode ser utilizada a seguinte fórmula:

$$G = \gamma * V$$

Onde:

G = peso do líquido;

γ = peso específico do líquido;

v = volume do líquido.

O procedimento para se obter o esforço durante a operação dos frascos com a superfície da máquina pode ser calculada através da seguinte fórmula a qual relaciona a força de atrito:

$$F_{\text{atrito}} = N * \mu$$

Onde:

F_{atrito} = força de atrito;

N = normal que fica sendo igual à força peso quando posicionado em um plano totalmente vertical;

μ = coeficiente de atrito que depende de cada material, acabamento superficial, condição da superfície (seca ou úmida). Foi considerado o coeficiente de atrito estático devido ao movimento intermitente do disco principal, pois cada movimento parte da inércia já que o movimento é intermitente.

Deste modo, a força contrária ao movimento do disco principal, teoricamente seria só a força de atrito. No entanto, pode haver certas adversidades observadas durante o processo de produção, também contrárias ao movimento que devem ser consideradas para o reprojeto, tais como:

- Ajuste operacional inadequado;
- Rolamento do disco principal com problemas ou travado, caso aconteça, mas essa probabilidade é menor devido às manutenções preventivas.

4.2 Definição dos Materiais

Segundo Faïres (1985) para determinar qual será o melhor material a se utilizar, devem-se considerar inicialmente as solicitações de esforços relativos à sua função, durabilidade e as exigências relativas à sua fabricação, bem como os custos de fabricação e os problemas de obtenção dos materiais. Também se podem relevar os resultados obtidos através de experiências já realizadas e empregar materiais comuns de propriedades comuns. Então, nos projetos de máquinas geralmente utiliza-se:

- Para eixos e arvores simples, aço carbono comum;
- Para chavetas e pinos, aço St 60;
- Para peças que tem superfícies de deslizamento, dependendo das circunstâncias, ferro fundido, cinzento mole, bronze, metal branco, ligas de zinco e alumínio e material que se agregam a outros e formam compostos que resistem ao desgaste por atrito;
- Para molas elásticas, aço-mola. Esses aços possuem um alto teor de carbono (usualmente mais do que 0,5% C), com tratamento termino e trabalhados a frio para

um alto limite elástico. Um grande limite elástico é importante para as molas a fim de permitir uma grande deflexão obedecendo à Lei de Hooke. Geralmente as molas são enroladas à frio até o diâmetro de ½” e a quente caso o diâmetro do arame seja maior que esse valor;

- Para peças com tendência ao desgaste e com grande pressão de contato, aço temperado;
- Para eixos e árvores os materiais mais utilizados na fabricação são os SAE's: 1015, 1020, 1025, 1030, 1035, 1040, 1045, 1060, 2340, 2345, 3115, 3120, 3135, 3140, 4120, 4130, 6150 com Cromo e Vanádio, (MELCONIAN, 2008).

4.3 Determinação da Chaveta Retangular

Segundo Melkonian (2008), o projeto destas chavetas é baseado no cisalhamento e na compressão, que são resultados do momento de torção a ser transmitido no sistema. Assim o resultado a ser considerado será em relação à maior força obtida das equações de cisalhamento e compressão. Para o cálculo da Tensão de Cisalhamento na Chaveta, tem-se a próxima equação:

$$\tau_s = \frac{2.T}{b.L.D}$$

Onde,

τ_s = Tensão admissível ao cisalhamento do material da chaveta;

T = Momento de torção transmitido à chaveta;

b = largura da chaveta;

L = Comprimento da chaveta;

D = diâmetro do eixo.

A Tensão de Compressão (Esmagamento) na Chaveta é obtida através da seguinte fórmula:

$$\sigma_s = \frac{4.T}{t.L.D}$$

Onde:

σ_s = Tensão admissível ao cisalhamento do material da chaveta;

T = Momento de torção transmitido à chaveta;

b = largura da chaveta;

L = Comprimento da chaveta;

D = diâmetro do eixo.

As dimensões da seção da chaveta adotadas foram de 6 x 6 mm (conforme diâmetro do eixo) e comprimento da mesma altura do acoplamento de segurança, valor maior que o previsto por cálculo teórico (2,01mm), portanto ok.

4.4 Determinação do Rolamento

Segundo Júnior (2008), o projetista de máquinas tem a sua disposição um grande número de tipos diferentes de rolamentos. Dentre os diversos tipos, tem-se:

- Rolamentos fixos de esferas;
- Rolamentos de contato angular de esferas;
- Rolamentos auto-compensadores de esferas;
- Rolamentos de rolos cilíndricos;
- Rolamentos auto-compensadores de rolos;
- Rolamentos de rolos agulha;
- Rolamentos de rolos cônicos.

Cada tipo de rolamento apresenta características especiais às quais se deve prestar a máxima atenção na escolha, para não fazer um mau emprego e limitar a sua vida útil.

O tamanho do rolamento é determinado pela intensidade e natureza das cargas e pelas exigências quanto à sua vida e segurança de funcionamento.

4.3.1 Cargas em Rolamentos

Somente em casos excepcionais é possível determinar, por meio de simples cálculo, as cargas que atuam sobre os rolamentos. Na maioria das vezes, essas cargas se compõem de certa força que se pode calcular, por exemplo, por intermédio do peso ou da potência transmitida e de várias forças adicionais, dinâmicas ou outras, cuja intensidade depende do modo como trabalha a máquina, e de outros fatores. Para determinar a intensidade dessas forças adicionais, é preciso recorrer, geralmente, aos resultados de experiência anteriores (JÚNIOR, 2008).

4.3.2 Relação entre Carga e Vida

Segundo Júnior (2008) a relação entre a capacidade básica de carga, a carga aplicada e a vida de um rolamento, obtém-se pela seguinte equação:

$$L = \frac{C}{P}^p$$

Onde:

L = vida nominal em milhões de rotações;

C = capacidade básica dinâmica, em Kg;

C/P = relação de carga, sendo $p = 3$ para rolamentos de esferas e $p = 10/3$ para rolamentos de rolos.

Para rolamentos que giram a velocidade constante, como geralmente sucede, é mais simples efetuar os cálculos para uma vida expressa em horas de funcionamento. Nas tabelas

dos fornecedores apresentam indicadas as relações de carga para diferentes velocidades, para diferentes vidas em horas de funcionamento.

A relação entre a vida em milhões de rotações e a vida em horas de funcionamento é expressa pela fórmula (JÚNIOR, 2008):

$$L = \frac{60 \cdot n \cdot L_h}{1.000.000}$$

Onde:

Lh = vida nominal em horas de funcionamento;

n = velocidade em rotações por minuto.

Devido à rotação desse rolamento ser muito baixo e trabalhar de forma intermitente, foram encontrados valores inconsistentes para o cálculo teórico.

Segundo Faires (1985, p. 5): “raramente, resultado obtido com o emprego de uma equação teórica poderá ser aplicado sem maiores exames. Assim, o requisito importante, agora, é o bom-senso”.

Então, foi adotado o rolamento 62052RS, devido às medidas nominais dos outros elementos dos conjuntos (Eixo e engrenagem) serem as mesmas.

Algumas características do rolamento e justificativas do uso (CATÁLOGO DE ROLAMENTOS NSK, 2009):

- Rolamento rígido com uma carreira de esferas já que o sistema não pode sofrer deslocamentos angulares. Esse tipo é o mais indicado do que um onde é possível o deslocamento angular, no caso o 1205 (rolamento auto-compensador de esferas);
- A discriminação 2RS é uma característica referente à retenção para líquidos em ambos os lados, esse tipo de rolamento impede que, por exemplo, a máquina ao ser lavada durante uma limpeza total que é comum após o término de todo o lote, saia à graxa do rolamento acarretando em um travamento do mesmo.
- Esse tipo de rolamento é de fácil obtenção encontrada em qualquer distribuidor de rolamentos.

4.5 Determinação da Mola

Para Faires (1985) as molas são elementos de máquinas comuns e de grande importância, empregadas com diversas finalidades tais como:

- Absorver energia de cargas que subitamente podem ser aplicadas, no caso de molas de automóveis;
- Atuar como reservatório de energia, como por exemplo, o caso dos relógios;
- Assegurar a pressão de contato de duas superfícies de atrito com nas embreagens, roldanas sobre cames ou excêntricos;
- Amortecer vibrações.

Segundo a força de uma mola pode ser calculada através da seguinte fórmula (FAIRES, 1985):

$$F = K.\delta$$

Onde,

F = força resultante da mola;

K = constante elástica da mola;

δ = deflexão em função da carga aplicada.

A força da mola descreve uma reta ascendente, assim quanto maior for o valor de δ , maior será o valor da força F. Assim, no desenvolvimento do projeto do acoplamento de segurança, foi considerado um ajuste mecânico por rosca para que a força pudesse ser alterada.

A especificação da mola para aquisição depende de medidas tais como:

- Diâmetro interno ou externo (se a mola for montada em um eixo, o importante será o diâmetro interno, caso for montada em um furo daí o importante passa a ser o diâmetro externo);
- Passo;

- Comprimento total da mola;
- Acabamento das extremidades (assento fechado, usinado ou não);
- Força de trabalho;
- Material de confecção.

As dimensões da mola foram de 26 mm de diâmetro interno, 6,5 mm de passo, 50 de comprimento total, assento fechado usinado e o material adotado foi o aço mola.

5 PROCESSO DE IMPLEMENTAÇÃO

5.1 Primeira Hipótese para Solução do Problema

Segue figura demonstrativa do sistema de transmissão principal da máquina onde foram detalhadas as peças do conjunto onde foi executada a melhoria:

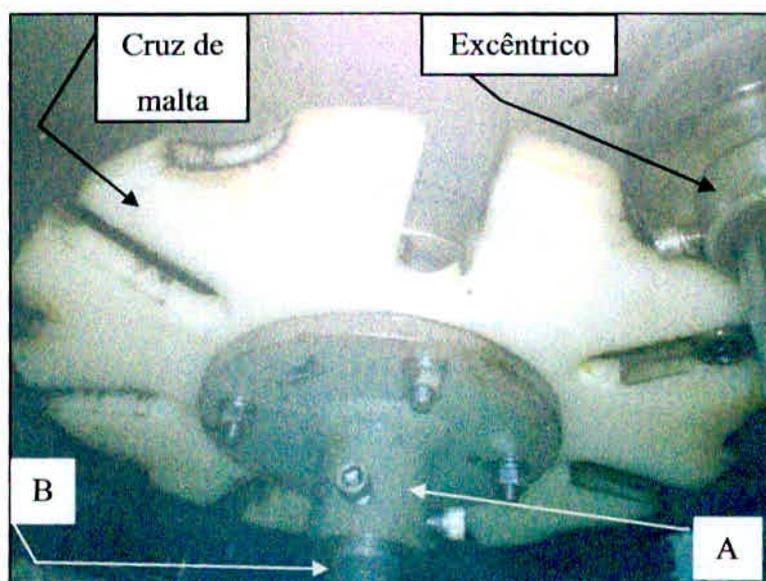


Figura 06: Cruz de Malta e excêntrico montados, antes da reforma.
Fonte: O autor.

A primeira hipótese levantada foi instalar um sensor fim de curso⁶ entre as partes A e B, assim quando o disco principal travar, a tendência é a flange A se deslocar em relação ao eixo B parando a máquina por comando do sensor.

Mas com essa solução, haveria um grande atrito entre as partes ocasionando:

- Desgaste irregular do eixo devido ao atrito com a extremidade com o parafuso;
- Após alguns acionamentos, a rebarba originária poderia causar o travamento excessivo das partes A e B dificultando o funcionamento nas próximas etapas;
- A inércia do sistema é um grande entrave para o funcionamento instantâneo do sistema, podendo causar riscos aos operadores.

5.2 Segunda Hipótese

Devido à grande possibilidade de falha da primeira hipótese, então foi buscado possíveis soluções na engenharia para o caso. Os elementos de máquinas na engenharia que fazem a interligação entre eixos são as embreagens e os acoplamentos tendo cada um características distintas são empregados dependendo da função que se deseja obter.

Para Faires (1971), as embreagens são dispositivos mecânicos de atrito sendo usada para conectar eixos entre si, desde modo, mantém essa ligação com a mesma velocidade angular. No entanto esse tipo de dispositivo não tem posição angular fixa de um elemento com relação a outro, podendo ter contato pelo atrito em qualquer posição ao longo dos 360°.

Os acoplamentos são dispositivos mecânicos que tem função de unir um conjunto de transmissão a outro, transferido rotação e torque determinados.

Segundo Niemann (1971) os acoplamentos, considerando o tipo de utilização, se classificam em:

- Acoplamento de engate, que realizam o engate ou desengate do motor em rotação contínua como a máquina. Ex: Compressores de ar de palhetas que estando em modo

⁶ Dispositivo elétrico de segurança que, ligado a comandos específicos, faz o equipamento o qual está atuando parar de funcionar ou executar determinada função.

de trabalho automático, desacoplam quando o reservatório de ar está cheio. Deste modo a corrente cai impactando em um consumo de energia elétrica;

- Acoplamentos de partida, esses acoplamentos só transmitem o torque real quando estão em rotação nominal, no momento da partida o torque tende a ser o mínimo. Esse tipo de acoplamento é montado em máquinas com a função de reduzir a corrente de partida do motor que chega a ser várias vezes maiores que a corrente nominal. Atualmente esse tipo de acoplamento vem sendo substituído pelos inversores de frequência que realizam a mesma função, mas de forma eletrônica, reduzindo a frequência e consequentemente a rotação por minuto do motor;
- Acoplamentos de segurança, que são dispositivos que ao ultrapassarem o momento de torção ajustado, deslizam de forma a não sobrecarregar os elementos de máquina.

Segundo a forma construtiva, existem acoplamentos de sapatas e cônicos de disco (um ou vários) e acoplamentos de fita oscilante.

Segundo o tipo de utilização por atrito e lubrificação, existem a seco e lubrificados, com ou sem a lona de atrito ou com esferas de aço como material de atrito.

Segundo o tipo de comando, há acoplamentos manuais ou de pé, acoplamentos magnéticos, hidráulicos ou pneumáticos e diretamente comandados pelo trabalho da máquina.

5.2.1 Associação dos Tipos de Acoplamentos

A associação do acoplamento de segurança com o de atrito por contato de esferas reúne fatores que direcionam para a resolução do problema dessa máquina, devido aos seguintes fatores:

- Desacoplamento das partes motora e movida, caso ocorra algum travamento;
- Posição fixa devido à característica proporcionada pelas esferas de contato do acoplamento de atrito, dessa forma evita-se que máquina fique fora da posição de trabalho;
- O desacoplamento pode acontecer instantaneamente de forma a não comprometer os elementos de máquinas tais como engrenagens cônicas e eixos e principalmente, de

modo a proporcionar segurança aos operadores da máquina conforme previsto na Norma Regulamentadora de Segurança - NR 12.

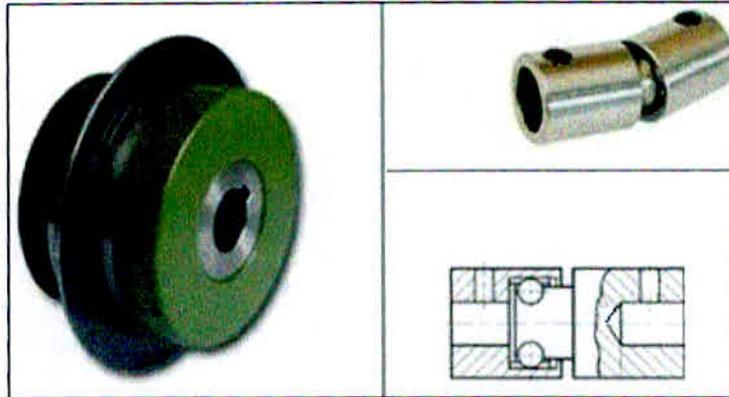


Figura 07: Acoplamentos associados como base para a solução do problema. Fonte: Norton (2008).

5.2.2 Acoplamento de Segurança com Quatro Esferas

Com o objetivo de reduzir a probabilidade de desgaste e esforço em um só ponto de referência (no caso uma esfera e um cavidade), evitar o desalinhamento e torção inadequados e aperfeiçoar o funcionamento, foram adotadas quatro esferas para o sistema dispostas a 90° . Entretanto devido à possibilidade de encaixe fora da posição original, as mesmas foram desenvolvidas com distâncias diferentes do centro da peça.

A próxima figura mostra a posição das esferas em uma das partes do acoplamento de segurança, pode-se notar claramente a diferença de centro que foi adotado a fim de eliminar a possibilidade de encaixe em outra posição não prevista. Desse modo, o sistema só funciona em uma só posição evitando possíveis erros no restabelecimento do funcionamento do equipamento.

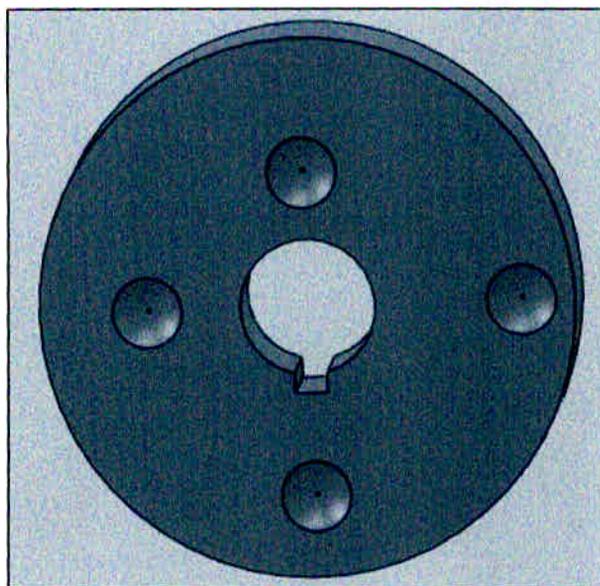


Figura 08: Parte do acoplamento de segurança que aloja as esferas, desenhado no programa SolidWorks. Fonte: O autor.

Essa parte do acoplamento é onde ficam alojadas as esferas. Os furos onde as esferas foram alojadas foram feitos com folga H7, pois as esferas devem girar dentro das cavidades, mas jamais fiquem folgadas.

Para expressar melhor essa consideração, foi feita uma simulação utilizando a semelhança dos triângulos:

$$\frac{f}{d} = \frac{f'}{d'}$$

Onde:

f = folga entre a esfera e a cavidade (considerada a folga de 0,5mm);

d = distância entre centros: da esfera e o centro do acoplamento (30 mm);

f' = folga devido à distância d' ;

d' = distância que se queira calcular a folga, nesse caso irá ser considerado a distância do raio do disco principal que é de 300 mm.

Então:

$$\frac{0,5}{30} = \frac{f'}{300}$$

$$f' = 5 \text{ mm}$$

Como se pode notar a folga aumentou proporcionalmente, ou seja, 10 vezes, conforme a variação da distância $d-d'$. Para a máquina em questão, com essa folga impossibilitaria o funcionamento devido à grande variação no disco principal. Um exemplo típico é o caso do menor frasco que apresenta diâmetro da boca de 8 mm. Com a folga pode ter variação para os dois lados, logo é muito difícil não ter problemas durante o processo de produção.

A figura abaixo mostra como a força F foi definida para atuar, ou seja, fora do centro da esfera para facilitar o desacoplamento. Isso foi adotado intencionalmente com o objetivo de uma das partes desacoplasse mais facilmente, no caso de um excesso de esforço.

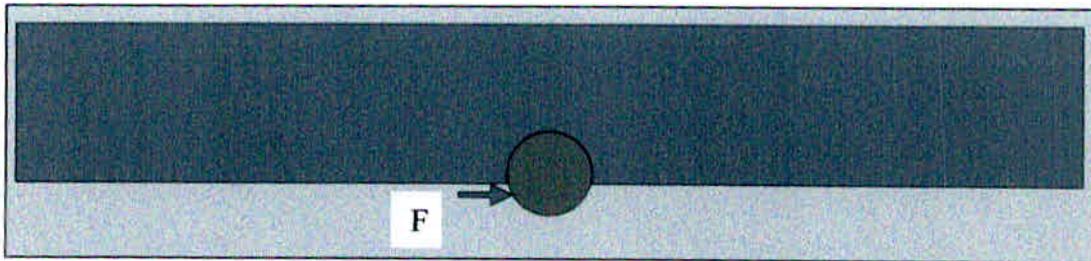


Figura 09: Seção em corte mostrando posição de ação da força sobre a esfera, desenhado no SolidWorks.
Fonte: O autor.

5.2.2.1 Parte de Contato do Acoplamento de segurança

Foi projetada a outra parte do acoplamento onde as esferas terão o encaixe previsto abaixo do centro da esfera, facilitando o desencaixe entre as partes.

A furação dessas duas partes do acoplamento de segurança foi feita em conjunto para evitar desvios gerados por possíveis folgas das máquinas operatrizes (torno, fresa, etc). Essa segunda peça será fixada na cruz de malta, responsável pelo movimento intermitente do sistema.

A próxima figura mostra parte do conjunto do acoplamento mostrando as cavidades de encaixe das esferas (G). A peça contém uma bucha de bronze (F) para evitar desgaste do eixo.

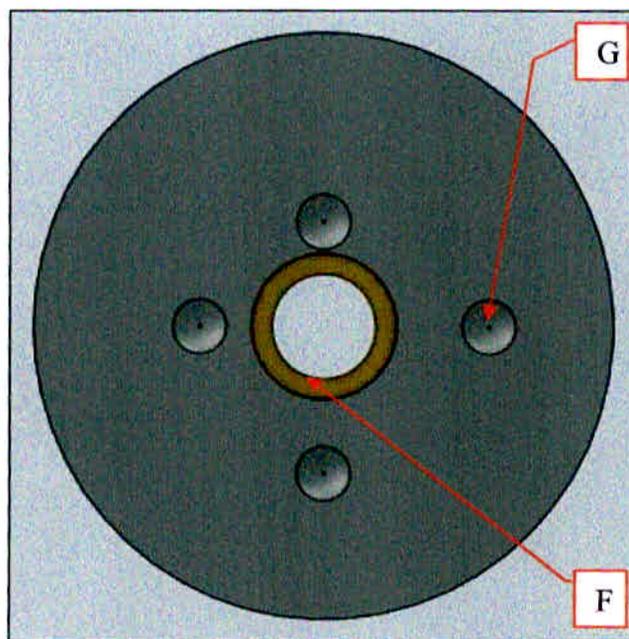


Figura 10: Parte de encaixe do acoplamento desenhado no SolidWorks. Fonte: O autor.

Para que seja possível realizar o desacoplamento do sistema em caso de travamento, a flange A da figura 06 deve ser substituída e em seu lugar instalada o acoplamento móvel de segurança.

A próxima figura mostra o esquema de montagem do novo sistema onde é possível ter esse deslocamento, já que ele é formado por peças móveis entre si (B e C) substituindo o sistema antigo em que essas peças eram uma só. A designação E da figura mostra a posição onde será instalado o sensor fim de curso, essa parte elétrica não foi uma preocupação para esse trabalho, pois essa chave foi instalada em paralelo com o botão de emergência para que a parada de máquina fosse possível após qualquer avaria no funcionamento.

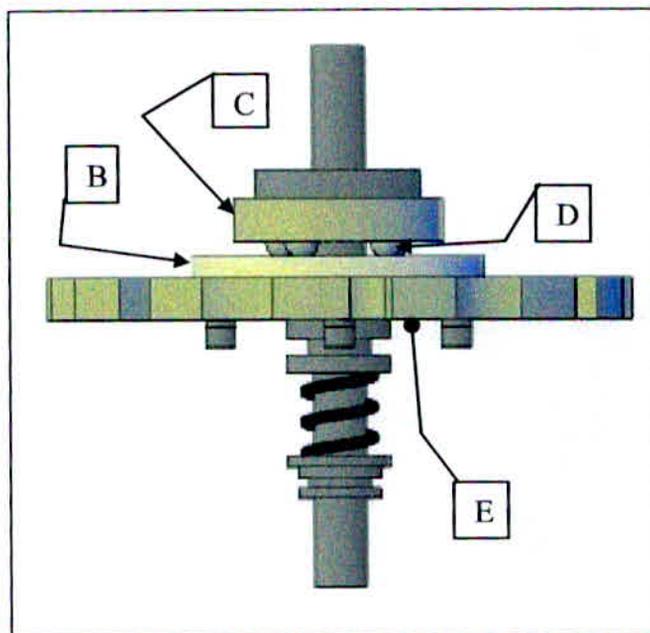


Figura 11: Vista frontal do novo sistema em fase de projeto desenhada no programa AutoCAD. Fonte: O autor.

5.3 Reprojeto Finalizado

Conforme desenvolvimento de todo processo preliminar acima onde foram determinados e conferidos os elementos de máquinas do conjunto, agora se pode ter uma vista geral do acoplamento de segurança.

Após a montagem foram realizados vários testes com o objetivo de acertar a deflexão da mola para que o torque de desacoplamento esteja em um nível seguro e também possa contribuir para a redução do excesso de tensão no sistema.

A parte superior da figura abaixo mostra que a flange A era parafusada diretamente no eixo B no sistema que funcionava na máquina antes do reprojeto. No sistema novo (posição abaixo na figura), teve-se a preocupação com os mínimos detalhes para minimizar ao máximo as possibilidades de falhas. Um exemplo disso é a bucha de bronze instalada no centro da peça a fim de reduzir o atrito quando o sistema for acionado. Com esse novo sistema a flange A foi substituída pelas peças C e D, além da mola, rosca de ajuste e chaveta de fixação.

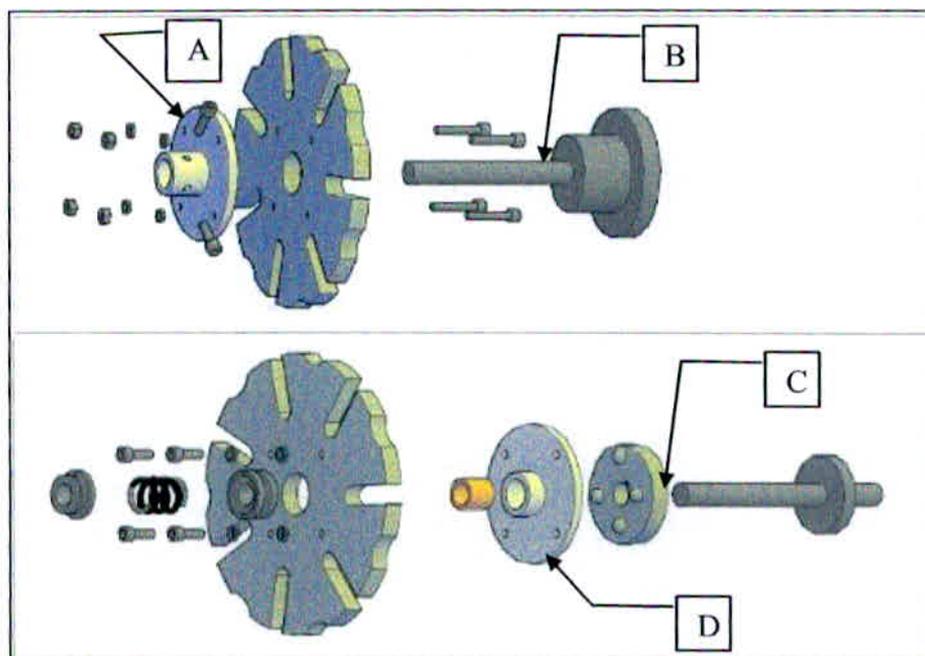


Figura 12: Vista explodida do reprojeto antes (acima) e depois (abaixo) desenhada no AutoCAD. Fonte: O autor.

A figura abaixo mostra o sistema de funcionamento antigo (à esquerda) e acoplamento de segurança implementado (à direita) onde é possível notar claramente a diferença entre eles, o novo sistema possui todo um arranjo em sua estrutura com mola e ajuste de tensão, característica fundamental para o bom funcionamento do sistema.



Figura 13: Sistemas montados antes e depois da melhoria. Fonte: O autor.

6 RESULTADOS

6.1 Diminuição do Tempo de Parada Não Programada por Manutenção

Foram levantados, ao longo do período de estudo, os dados de produção da máquina antes e depois da realização da melhoria/reprojeto. Na seguinte tabela é mostrada uma comparação do tempo programado para produção e o tempo de parada não programada onde teve atuação da equipe de manutenção para a resolução do problema.

Tabela 01- Horas programadas para produção em cada mês de estudo X Tempo de máquina parada.

Meses	Programação de Produção (hs)	Parada Não Programada (hs)	% de Parada
Jan	330	35	10,61%
Fev	315	21	6,67%
Mar	325	18	5,54%
Abr	322	19	5,90%
Mai	328	22	6,71%
Jun	250	5	2,00%
Jul	320	0	0,00%
Ago	325	0	0,00%
Set	322	0	0,00%
Out	327	0	0,00%

Fonte: O autor.

Esses dados da tabela foram colocados em um gráfico para melhor visualização, conforme segue:

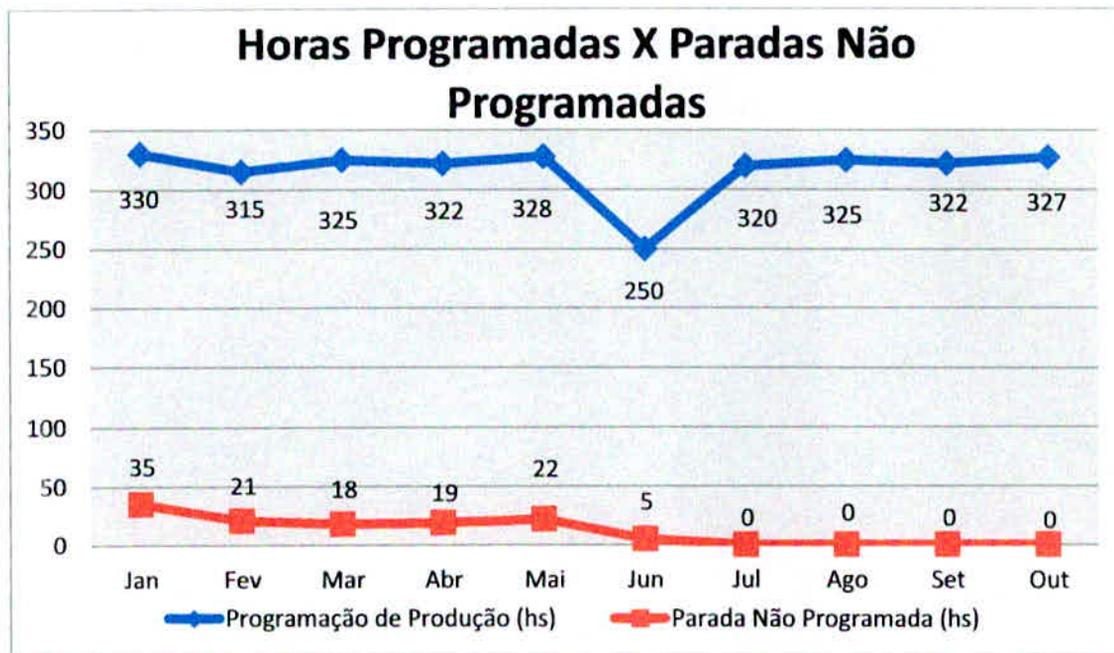


Gráfico 01: Tempo programado para produção X Tempo de parada não programada. Fonte: O autor.

No mês de Junho foi realizada uma parada programada de 5 dias para a realização do reprojeto, logo o tempo programado para produção foi nesse mês foi menor em comparação com os outros meses.

A porcentagem de parada de máquina parada ao longo dos meses de estudo pode ser visualizada pelo gráfico a seguir.

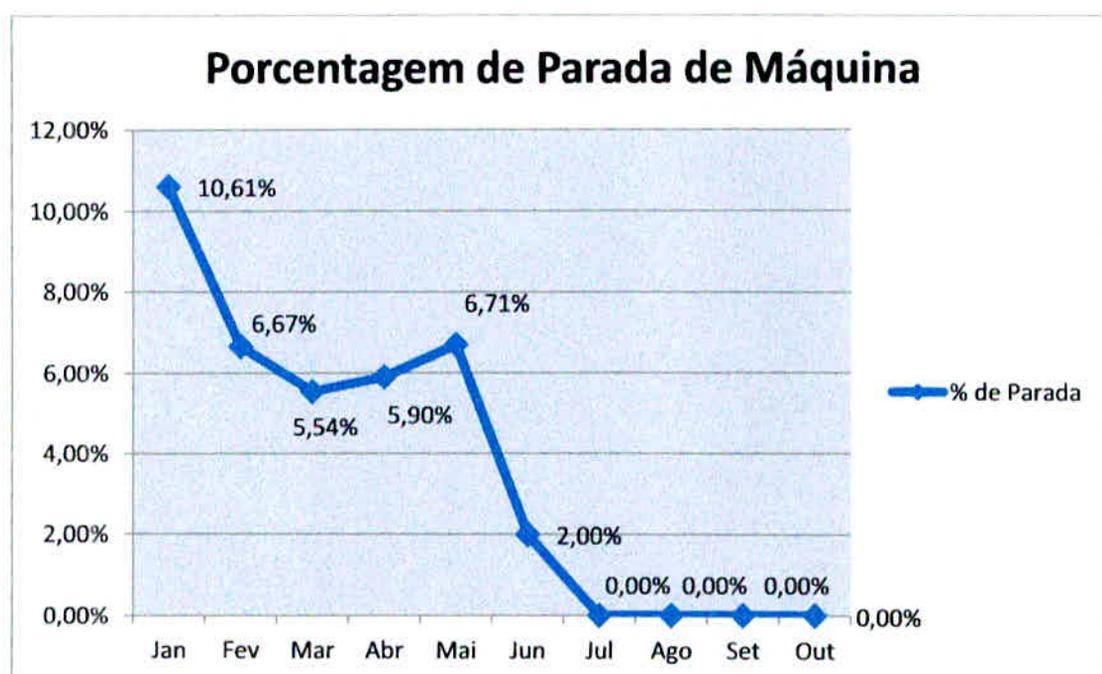


Gráfico 02: Porcentagem de parada não programada da máquina. Fonte: O autor

No início do estudo, pode-se verificar uma taxa relativamente alta de parada e como ela decresceu com o passar do tempo, uma similaridade com a curva da banheira pode ser visualizada no qual é nomeado como “problemas de infância” os desvios que ocorrem após uma manutenção geral da máquina. Analisando histórico da máquina, problemas relacionados com a montagem e alguns ajustes após a manutenção preventiva do fim do ano de 2010 foram verificados.

6.2 Aumento da Disponibilidade da Máquina

A Disponibilidade da máquina durante o período de estudo pode ser visualizada através da próxima tabela:

Tabela 02 - Tempo Planejado X Tempo Real.

Meses	Tempo Planejado de Produção (hs)	Tempo Real de Produção (hs)	Disponibilidade
Jan	330	295	89%
Fev	315	294	93%
Mar	325	307	94%
Abr	322	303	94%
Mai	328	306	93%
Jun	250	245	98%
Jul	320	320	100%
Ago	325	325	100%
Set	322	322	100%
Out	327	327	100%

Fonte: O autor

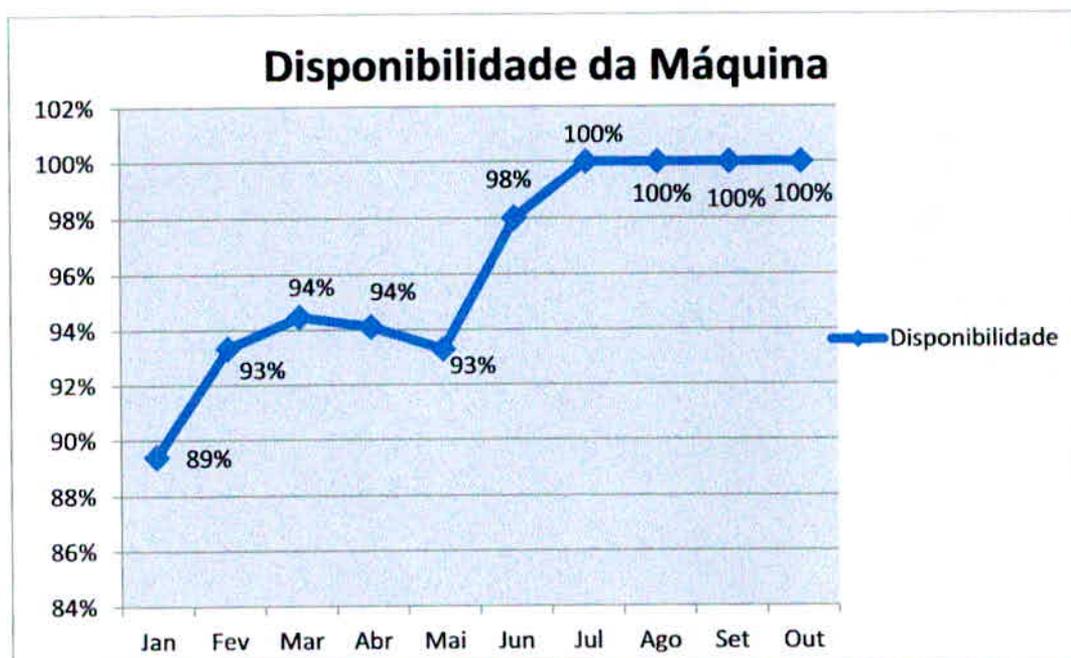


Gráfico 03: Disponibilidade da máquina para a produção. Fonte: O autor

O aumento do Índice de Disponibilidade é visível após a instalação do novo sistema. Em comparação com os gráficos de parada de máquina, pode-se notar que no início do ano o índice foi menor como resultado de um índice maior de manutenção não programada.

No mês de Maio a ocorrência relacionada a paradas não programadas foi maior já que a dificuldade em restabelecer a condição de produção aumentava à medida que o tempo passava. As partes da máquina que recebiam o esforço quando a máquina travava começavam a ficar com rebarbas e ranhuras dificultando o trabalho do mecânico de manutenção.

6.3 Redução das Tensões nas Engrenagens de Transmissão

Conforme apresentado acima no item de falhas, as engrenagens cônicas de transmissão da máquina tiveram um desgaste acentuado na região do diâmetro primitivo devido ao excesso de tensões do sistema de transmissão antes da execução da melhoria.

Analisando a próxima figura observa-se que os dentes da engrenagem ficaram deformados e não ocasionou a ruptura do pé do dente, pois o mesmo estava bem dimensionado.

O aumento da útil dos elementos de todo o sistema, tais como rolamentos, engrenagens, eixo, redutor, correia de transmissão em “V”, é esperado e pode ser comprovado pela comparação das figuras abaixo, pois o desgaste, caso ocorra, é mais visível ao mantenedor.



Figura 14: Engrenagens de transmissão antes e depois do reprojeto com o mesmo tempo de uso.
Fonte: O autor.

6.4 Análise dos Custos

O custo está presente em todas as atividades de uma empresa. São vários os custos que se relacionam direta ou indiretamente com o uso de uma máquina durante seu ciclo de vida, no entanto, neste trabalho, maior ênfase foi dada aos custos de manutenção, por este refletir melhor na confiabilidade do equipamento.

Nesse trabalho foi realizada essa comparação em dois momentos:

- A primeira faz uma comparação do ciclo de vida das peças do sistema antigo baseado no histórico da máquina e para o sistema novo foi realizado uma projeção, em 4 anos, com base no manual do fabricante dessa máquina (no projeto inicial dessa máquina não foi considerado condições anormais de funcionamento pelo fabricante).

Tabela 03 - Comparação de Custos em 4 anos com Substituição de Peças: Sistema Antigo X Sistema Novo.

Peças Trocadas	Sistema Antigo	Frequência (4 anos)	Sistema Novo	Frequência (4 anos)
Engrenagens Cônicas	R\$ 4.400,00	8 pares (1 par/semestre)	R\$ 1100,00	2 pares (1 par /biênio)
Correias em "V"	R\$ 448,00	16 peças (1 peça/trimestre)	R\$ 112,00	4 peças (1 / ano)
Rolamentos	R\$ 360,00	8 pares (1 par/semestre)	R\$ 180,00	2pares (1par/ano)
Eixo	R\$ 3.560,00	4 peças (1 peça/ano)	R\$ 0,00	Não previsto
Redutor	R\$ 2.400,00	2peças (1 peça/biênio)	R\$ 0,00	Não previsto
TOTAL	R\$ 9.328,00		R\$ 842,00	

Fonte: O autor.

Segue abaixo gráfico comparativo conforme dados da tabela acima.

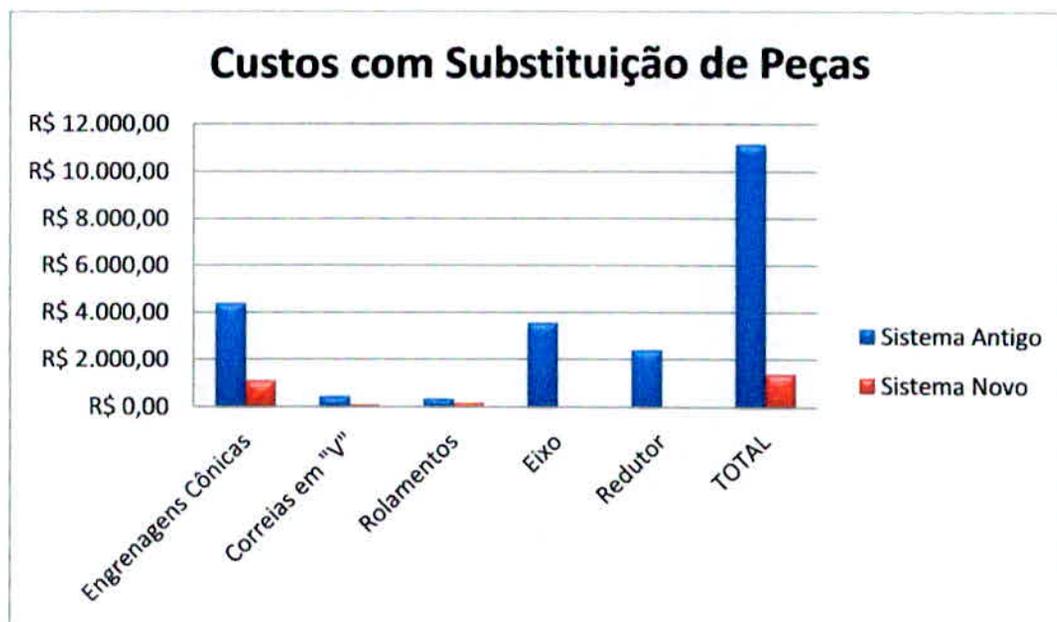


Gráfico 04: Comparação de custos com substituição de peças entre os dois sistemas em 4 anos.

Fonte: O autor.

- A segunda faz uma comparação do custo de realização do reprojeto (R\$ 2500,00) mais os custos com as trocas periódicas de peças em relação à opção de continuar realizando manutenção corretiva e trocando as peças descritas acima.

Tabela 04 - Custos acumulados: Sistema Antigo X Sistema Novo.

Meses	Sistema Antigo	Sistema novo
Início	R\$ 2.713,00	R\$ 3.123,00
Após 3 Meses	R\$ 2.741,00	R\$ 3.123,00
Após 6 Meses	R\$ 3.364,00	R\$ 3.123,00
Após 9 Meses	R\$ 3.392,00	R\$ 3.123,00
Após 1 ano	R\$ 4.905,00	R\$ 3.196,00
Após 15 Meses	R\$ 4.933,00	R\$ 3.196,00
Após 18 Meses	R\$ 5.556,00	R\$ 3.196,00
Após 21 Meses	R\$ 5.584,00	R\$ 3.196,00
Após 2 anos	R\$ 8.297,00	R\$ 3.819,00
Após 27 Meses	R\$ 8.325,00	R\$ 3.819,00
Após 30 Meses	R\$ 8.948,00	R\$ 3.819,00
Após 33 Meses	R\$ 8.976,00	R\$ 3.819,00
Após 3 anos	R\$ 10.489,00	R\$ 3.892,00
Após 39 Meses	R\$ 10.517,00	R\$ 3.892,00
Após 42 Meses	R\$ 11.140,00	R\$ 3.892,00
Após 45 Meses	R\$ 11.168,00	R\$ 3.892,00
Após 4 Anos	R\$ 11.168,00	R\$ 3.892,00

Fonte: O autor.

Pelo gráfico abaixo, pode-se notar o momento em que o reprojeto passa a ter viabilidade, analisando o ponto de interseção das linhas do sistema antigo e do sistema novo.

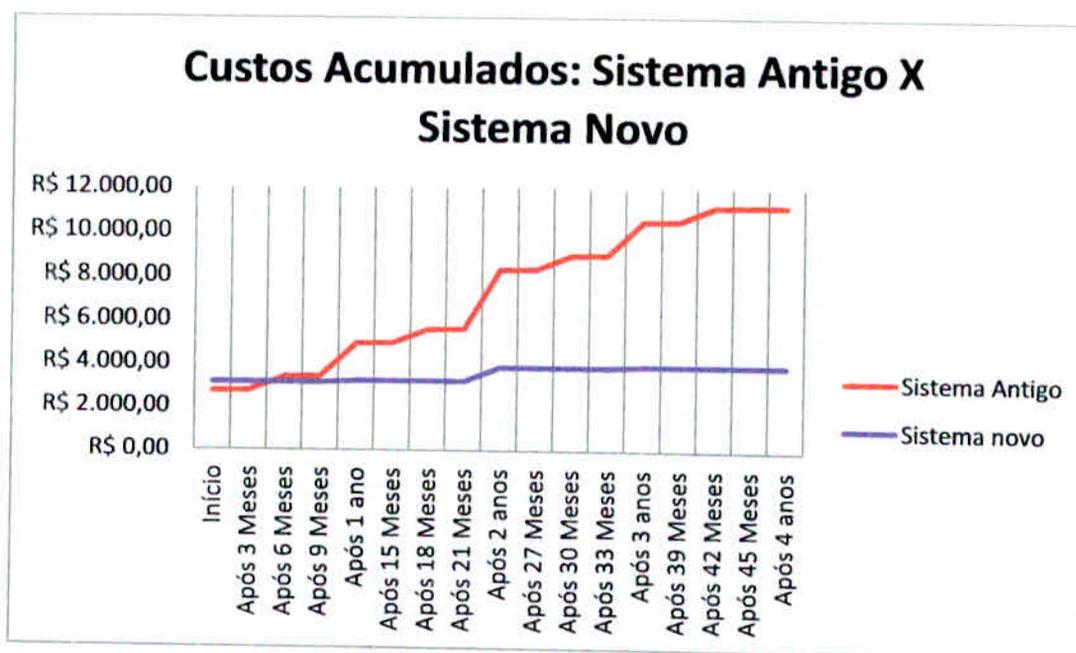


Gráfico 05: Custos acumulados do sistema antigo x sistema novo para facilitar a análise de viabilidade.
Fonte: O autor.

7 CONCLUSÃO

A engenharia é um ramo das ciências exatas e como toda ciência exata, um problema pode ter diversos tipos de soluções. A opção adotada pelo reprojeto da máquina foi uma decisão bem escolhida, pois diversos objetivos traçados foram atingidos como: redução do risco de acidente, aumento da produtividade com o aumento da disponibilidade da máquina, redução do tempo de máquina parada, redução dos custos com manutenção e autonomia operacional.

A arte de reprojeto faz o profissional constantemente estar revisando e retomando os conceitos teóricos aplicando-os na prática e principalmente para imaginar, ter novas ideias ou de aplicar dispositivos para promover vantagens conforme foi resultado desse trabalho.

Uma consideração fundamental para o reprojeto de máquinas é o acompanhamento pós-execução a fim de corrigir os possíveis problemas e realizar certos ajustes, e também realizar treinamento do pessoal envolvido com o processo de produção, pois alguns ajustes foram necessários após a conclusão e o treinamento aos operadores poderia ter mais envolvimento, pois algumas vezes a máquina ficou parada aguardando manutenção sem ter necessidade, é o que mostra aquele pequeno índice de parada apontado no mês de Junho, ou seja, após a melhoria.

Durante o desenvolvimento desse trabalho na função de projetista pude comprovar, conforme mencionado por Faires, que em certas ocasiões tive que tomar algumas considerações já não é possível calcular tudo, entretanto deve ser levado em conta a criticidade dessa decisão, pois poderá comprometer a segurança de pessoas. No caso da determinação do rolamento, por exemplo, foi adotado conforme suas propriedades já que o cálculo resultou em valores inconsistentes. A determinação da mola também seguiu essa mesma linha, no entanto a implementação de um sistema com ajuste da força da mola por rosca obteve um resultado muito satisfatório para o sucesso desse trabalho. Caso necessário, a força é ajustada pela manutenção. No fator segurança, não pôde ser mensurado o antes e o depois, entretanto foi alinhada a condição importante de segurança para a máquina conforme previsto na Norma Regulamentadora número 12.

Enfim, o desenvolvimento desse trabalho me fez perceber o quão importante foi ter o contato com altas tecnologias, resultado do contato com a área de manutenção de uma empresa em constante crescimento. A prática e a vivência nesta área me auxiliou muito no desenvolvimento e otimização dessa melhoria para que obtivesse o resultado esperado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Maria Christina Barbosa de. **Planejamento de Bibliotecas e Serviços de Informações**. 2. ed. Brasília: Briquet de Lemos Livros, 2005.
- ASHBY, Michael F.; JONES, David, R. H. **Engenharia de Materiais: uma introdução a propriedades, aplicações e projeto**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- CALLISTER, William D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- FAIRES, Virgil Moring. **Elementos Orgânicos de máquinas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1985.
- FAIRES, Virgil Moring. **Elementos Orgânicos de máquinas**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1971.
- FREITAS, João Mário Mendes de. **Sistemas Mecânicos**. Varginha. 2010. (Apostila).
- JÚNIOR, Altamiro Caldonazo. **Sistemas Mecânicos**. Varginha, 2008. (Apostila).
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LIDA, Itiro. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- MELKONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2008.
- MELCONIAN, Sarkis. **Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais**. 16. ed. São Paulo: Érica, 2005.
- NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de Manutenção Preditiva**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.
- NIEMANN, Gustav. **Elementos de Máquinas**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1971.

NORTON, Robert L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2008.

NR 12, **Norma Regulamentadora de Segurança em Máquinas e Equipamentos**.
Publicação: Portaria GM n° 3.214 de 08 de Junho de 1978. Atualização: Portaria SIT n° 197 de 17 de Dezembro de 2010.

NSK, **Catálogo de Rolamentos**. 1. ed. São Paulo: NSK do Brasil, 2009.

PAHL, Gerhard et al. **Projeto de Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. Tradução Hans Andreas Werner. 6. ed. Alemã. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

SHIGLEY, Joseph E. et. al. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7. ed. São Paulo: Bookman, 2004.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção Centrada Na Confiabilidade: Manual de Implementação**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

STEMMER, Caspar Erich. **Projeto e Construção de Máquinas**. 3. ed. Porto Alegre: Globo, 1982.

STREETER, Victor Lyle. **Mecânica dos Fluidos**. 7. ed. São Paulo: Mc Graw-hill, 1982.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM: Planejamento e Controle de Manutenção**. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

ZAMPESE, Bóris. **Manual de Elementos de Construção de Máquinas**. 1. ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1976.