



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Igor Rodrigues Teixeira

Joaquim Neves dos Santos Barretto

Lucas Nonato Catapano Naves

Matheus Oliveira Cardoso Silva

Menezio Alves de Souza Neto

RETROFIT EM MÁQUINA FABRICANTE DE MOLAS

SALVADOR

2019



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Igor Rodrigues Teixeira

Joaquim Neves dos Santos Barretto

Lucas Nonato dos Santos Catapano Naves

Matheus Oliveira Cardoso Silva

Menézio Alves de Souza Neto

RETROFIT EM MÁQUINA FABRICANTE DE MOLAS

Relatório apresentado ao SENAI CIMATEC, como parte das exigências para a conclusão do curso de Engenharia Mecânica, tendo como orientador o Eng. Alexandre Diego Poltronieri.

SALVADOR

2019

RESUMO

Theoprax é um projeto requisito para a conclusão do curso de graduação do Centro Universitário SENAI CIMATEC. O Projeto realizado, consiste em um Retrofit da Parte Pneumática de uma Máquina de Molas cujo fabricante é a Lian Rou, com objetivo de aumentar sua produtividade respeitando as Normas Técnicas referente a máquina e os Requisitos do cliente. A metodologia utilizada para realização do projeto foi a de desenvolvimento de produto, sendo feito as etapas informacional, conceitual, básico e detalhado. Nesta etapa informacional do projeto, foram realizadas pesquisas referentes aos conhecimentos técnicos e normativos acerca do projeto, para dessa forma embasar o desenvolvimento prático que ocorrerá em sequência. Em paralelo, foram estudadas ferramentas de qualidade para serem utilizadas a fim de alinhar as expectativas e necessidades do cliente com a viabilidade financeira e técnica do projeto.

Palavras-chave: Molas, Produtividade, Lian Rou, Normas.

ABSTRACT

Theoprax is a project required for the completion of the undergraduate course at SENAI CIMATEC University Center. The project consists of a Retrofit of the Pneumatic Part of a Spring Machine whose manufacturer is Lian Rou, aiming to increase its productivity respecting the Machine Technical Standards and the Customer Requirements. The methodology used to carry out the project was the product development, being made the informational, conceptual, basic and detailed steps. In this informational stage of the project, research was carried out regarding the technical and normative knowledge about the project, in order to base the practical development that will occur in sequence. In parallel, quality tools were studied to be used in order to align customer expectations and needs with the financial and technical feasibility of the project.

Key words: Springs, Productivity, Lian Rou, Standards.

SUMÁRIO

<i>PROJETO INFORMACIONAL</i>	5
1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Justificativa	5
1.2. Objetivos	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.2. Matriz QFD	7
3. NORMAS	10
SÍNTESE FUNCIONAL	16
4. REQUISITOS TÉCNICOS	17
5. BENCHMARK	19
<i>PROJETO CONCEITUAL</i>	22
1. INTRODUÇÃO	22
1.1. Justificativa	22
1.2. Objetivos	24
2. MATRIZ MORFOLÓGICA	25
2.1. APLICAÇÃO DA MATRIZ MORFOLÓGICA	25
3. CRIAÇÃO E SELEÇÃO DE CONCEITOS PARA VALIDAÇÃO DE CONCEITOS	27
<i>PROJETO BÁSICO E DETALHADO</i>	29
1. INTRODUÇÃO	29
1.1. Justificativa	29
2. FMEA	29
3. CONJUNTO CAME-SEGUIDOR	31
4. ENGRENAGENS	45
5. ROLAMENTOS	48
6. TRATAMENTO TÉRMICO	48
6.1. Navalha	56
6.2. Discos de tração	57
6.3. Tratamento a ser aplicado	57
7. ACOPLAMENTO	58
8. SISTEMA PNEUMÁTICO	62
9. INSTALAÇÃO DO FLR	70
10. CONCLUSÃO	72
ANEXOS	74
11. REFERÊNCIAS	95

PROJETO INFORMACIONAL

1. INTRODUÇÃO

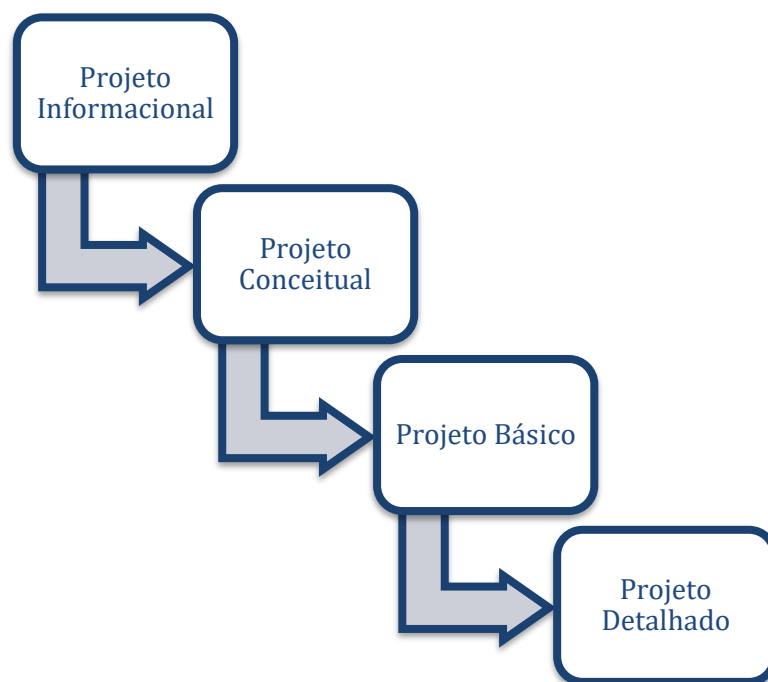
1.1. Justificativa

O projeto Theoprax faz parte da metodologia de ensino do Centro Universitário Senai Cimatec para a realização do projeto de conclusão de curso. Dentro do Projeto Theoprax é designado um projeto de uma empresa (cliente) a um grupo de alunos, estes que durante um tempo estabelecido, irão realizar juntamente, com um professor orientador a realização do projeto demandado. O cliente é uma empresa baiana especializada na fabricação de molas para colchão, sendo ele de dois tipos: um de mola ensacada e outro segmento que é de molas com junção por espiras. A fábrica está localizada no bairro de Valéria, Salvador/BA e possui uma linha de produção de molas helicoidais, que produz aproximadamente 40 molas por minuto em cada máquina. No intuito de aumentar a produtividade é desejável pela empresa, alcançar a produção de 50 molas por minuto. As máquinas são da fabricante chinesa Lian Rou e o fornecedor da matéria-prima é a empresa Belgo-Mineira.

1.2. Objetivos

Tendo como meta final o estudo de um retrofit em uma máquina fabricante de molas, a equipe estruturou o projeto nas seguintes etapas:

Figura 1: Fluxograma Representando as Etapas do Projeto



Fonte: Autores, 2018

Nesse relatório, será apresentado a etapa do projeto informacional, este que dentro da realização de um projeto científico é de extrema importância para o entendimento correto do problema do produto e identificar as reais necessidades do cliente e definir os requisitos. Nesta etapa de projeto informacional será dividido em:

- Definição de Conceitos; nesta etapa será feito a revisão bibliográfica de todos os conceitos que serão aplicados;
- Estudo de Normas; o estudo de normas, especificamente as NR 12 e NR 10, será necessário para entender a segurança em instalações elétricas e segurança no trabalho com máquinas e equipamento;

- Pesquisa de Similares/Benchmark: Nessa parte do trabalho será apresentado máquinas similares de outras fabricantes que desempenham a mesma função, com intuito de comparar com a máquina onde será feito o estudo do *retrofit*;
- Matriz QFD: usado como ferramenta de qualidade a matriz QFD, pois será possível mostrar como tratar as necessidades do cliente e representá-las como seus requisitos;
- Definição de Requisitos: nesta etapa será trabalhado melhor os principais requisitos obtidos através da aplicação da Matriz QFD;
- Síntese Funcional: por fim, irá ser apresentado um fluxograma contendo todas as funções realizada pela máquina Lian Rou PKT 30.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Retrofit

Retrofitting é um termo em inglês para reforma. *Retrofit* de máquina, no contexto da engenharia, é usado para se referir a um procedimento de reforma e modernização de um equipamento. O processo de *retrofit* pode ser aplicado para a troca de partes móveis, recuperação de peças desgastadas e também modernização de sistemas de comando e automação. Através da aplicação do *retrofit* podemos obter os seguintes benefícios:





- Aumento da produtividade da máquina;
- Redução de riscos aos operadores;
- Atualização de sistemas complexos para interfaces simples;
- Investimento de baixo custo em comparação a compra de uma máquina nova.

2.2. Matriz QFD

Quality Function Deployment (QFD), é uma técnica empregada nos projetos de desenvolvimento de produto e tem como objetivo auxiliar o time de desenvolvimento a introduzir no projeto as reais necessidades do cliente. Segundo Akao (1990), a ferramenta de qualidade converte os requisitos do consumidor em características de qualidade do produto e o desenvolvimento da Qualidade de projeto para o produto acabado através de desdobramentos sistemáticos das relações entre requisitos do

O QFD possibilita a transição de uma linguagem para outra. O desdobramento acontece dos requisitos, o que, para características técnicas, como. Sendo assim possível avaliar e relacioná-las. As relações normalmente são representadas por símbolos e/ou valores, como mostrado na figura abaixo.

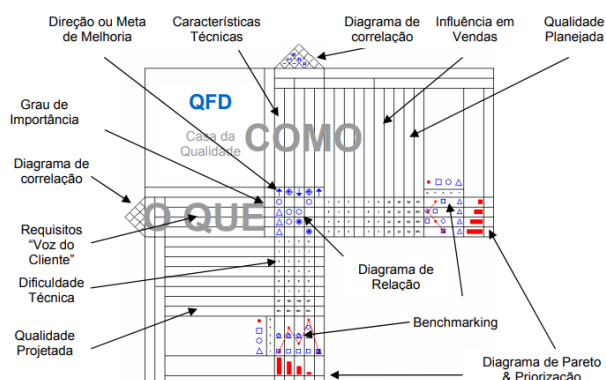
Figura 3: Relações entre requisitos e características

	Relação Forte	9
	Existe Relação	3
	Relação Fraca	1
	Não existe Relação	0

Fonte: QFD_manual

De forma geral uma casa de qualidade pode ser construída seguindo os seguintes passos:

Figura 4: Detalhamento da Matriz QFD



Fonte: QFD_manual

Primeiro são analisados os requisitos do cliente, estes que são pontos em que os clientes esperam do produto. Depois os mesmos são elencados em Grau de Importância em uma escala de 1 a 5. É feito um Benchmark competitivo no intuito de fazer uma comparação do produto atual da empresa com os principais concorrentes. A matriz de correlações é o teto da casa, essa matriz cruza características de qualidade entre si, permitindo assim identificar como essas características se relacionam. A matriz de relações ajuda a identificar quantitativamente como cada característica estabelecida tem influência nos requisitos do cliente.

3. NORMAS

Para o projeto em questão, duas normas são imensamente usadas: a NR 10 - Segurança em Instalação e Serviço com Eletricidade, onde estabelece os requisitos e condições mínimas exigidas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que interagem com instalações elétricas, em suas etapas de projeto, construção, montagem, operação e manutenção, bem como de quaisquer trabalhos realizados em suas proximidades, e a NR 12 (Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos) que definem técnica de proteção que tendem a garantir a saúde e integridade física dos trabalhadores durante as fases de projeto, utilização, fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão de máquinas e equipamentos de qualquer tipo.

Dentro dessas normas, os tópicos que mais abordaram sobre o assunto foram:

- Para a NR 10:

10.3 - SEGURANÇA EM PROJETOS

10.3.3 - O projeto de instalações elétricas deve considerar o espaço seguro, quanto ao dimensionamento e a localização de seus componentes e as influências externas, quando da operação e da realização de serviços de construção e manutenção.

10.4 - SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO, MONTAGEM, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

10.4.1 - As instalações elétricas devem ser construídas, montadas, operadas, reformadas, ampliadas, reparadas e inspecionadas de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores e dos usuários, e serem supervisionadas por profissional autorizado, conforme dispõe esta NR.

10.4.2 - Nos trabalhos e nas atividades referidas devem ser adotadas medidas preventivas destinadas ao controle dos riscos adicionais, especialmente quanto a altura, confinamento, campos elétricos e magnéticos, explosividade, umidade, poeira, fauna e flora e outros agravantes, adotando-se a sinalização de segurança.

10.4.3 - Nos locais de trabalho só podem ser utilizados equipamentos, dispositivos e ferramentas elétricas compatíveis com a instalação elétrica existente, preservando-se as características de proteção, respeitadas as recomendações do fabricante e as influências externas.

10.4.3.1 - Os equipamentos, dispositivos e ferramentas que possuam isolamento elétrico devem estar adequados às tensões envolvidas, e serem inspecionados e testados de acordo com as regulamentações existentes ou recomendações dos fabricantes.

10.4.4 - As instalações elétricas devem ser mantidas em condições seguras de funcionamento e seus sistemas de proteção devem ser inspecionados e controlados periodicamente, de acordo com as regulamentações existentes e definições de projetos.

10.4.4.1 - Os locais de serviços elétricos, compartimentos e invólucros de equipamentos e instalações elétricas são exclusivos para essa finalidade, sendo expressamente proibido utilizá-los para armazenamento ou guarda de quaisquer objetos.

10.4.5 - Para atividades em instalações elétricas deve ser garantida ao trabalhador iluminação adequada e uma posição de trabalho segura, de acordo com a NR 17 - Ergonomia, de forma a permitir que ele disponha dos membros superiores livres para a realização das tarefas.

10.4.6 - Os ensaios e testes elétricos laboratoriais e de campo ou comissionamento de instalações elétricas devem atender à regulamentação estabelecida nos itens 10.6 e 10.7, e somente podem ser realizados por trabalhadores que atendam às condições de qualificação, habilitação, capacitação e autorização estabelecidas nesta NR.

10.5 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DESENERGIZADAS

10.5.1 - Somente serão consideradas desenergizadas as instalações elétricas liberadas para trabalho, mediante os procedimentos apropriados, obedecida a seqüência abaixo:

- a) seccionamento;
- b) impedimento de reenergização;
- c) constatação da ausência de tensão;
- d) instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- e) proteção dos elementos energizados existentes na zona controlada (Anexo II); (alterada pela Portaria MTPS n.º 508, de 29 de abril de 2016)
- f) instalação da sinalização de impedimento de reenergização.

10.5.2 - O estado de instalação desenergizada deve ser mantido até a autorização para reenergização, devendo ser reenergizada respeitando a seqüência de procedimentos abaixo:

- a) retirada das ferramentas, utensílios e equipamentos;
- b) retirada da zona controlada de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização;
- c) remoção do aterramento temporário, da equipotencialização e das proteções adicionais; d) remoção da sinalização de impedimento de reenergização;
- e) destravamento, se houver, e religação dos dispositivos de seccionamento.

10.5.3 - As medidas constantes das alíneas apresentadas nos itens 10.5.1 e 10.5.2 podem ser alteradas, substituídas, ampliadas ou eliminadas, em função das peculiaridades de cada situação, por profissional legalmente habilitado, autorizado e mediante justificativa técnica previamente formalizada, desde que seja mantido o mesmo nível de segurança originalmente preconizado.

10.5.4 - Os serviços a serem executados em instalações elétricas desligadas, mas com possibilidade de energização, por qualquer meio ou razão, devem atender ao que estabelece o disposto no item 10.6.

10.6 - SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS ENERGIZADAS

10.6.1 - As intervenções em instalações elétricas com tensão igual ou superior a 50 Volts em corrente alternada ou superior a 120 Volts em corrente contínua somente podem ser realizadas por trabalhadores que atendam ao que estabelece o item 10.8 desta Norma.

10.6.1.2 - As operações elementares como ligar e desligar circuitos elétricos, realizadas em baixa tensão, com materiais e equipamentos elétricos em perfeito estado de conservação, adequados para operação, podem ser realizadas por qualquer pessoa não advertida.

10.6.3 - Os serviços em instalações energizadas, ou em suas proximidades devem ser suspensos de imediato na iminência de ocorrência que possa colocar os trabalhadores em perigo.

- Para a NR 12:

12.111 - As máquinas e equipamentos devem ser submetidos à manutenção preventiva e corretiva, na forma e periodicidade determinada pelo fabricante, conforme as normas técnicas oficiais nacionais vigentes e, na falta destas, as normas técnicas internacionais.

12.111.1. - As manutenções preventivas com potencial de causar acidentes do trabalho devem ser objeto de planejamento e gerenciamento efetuado por profissional legalmente habilitado.

12.112. - As manutenções preventivas e corretivas devem ser registradas em livro próprio, ficha ou sistema informatizado, com os seguintes dados:

- a) cronograma de manutenção;
- b) intervenções realizadas;
- c) data da realização de cada intervenção;
- d) serviço realizado;
- e) peças reparadas ou substituídas;
- f) condições de segurança do equipamento;

- g) indicação conclusiva quanto às condições de segurança da máquina;
- h) nome do responsável pela execução das intervenções.

12.112 - As manutenções preventivas e corretivas devem ser registradas em livro próprio, ficha ou sistema informatizado, com os seguintes dados:

- a) cronograma de manutenção;
- b) intervenções realizadas
- c) data da realização de cada intervenção;
- d) serviço realizado;
- e) peças reparadas ou substituídas;
- f) condições de segurança do equipamento;
- g) indicação conclusiva quanto às condições de segurança da máquina;
- h) nome do responsável pela execução das intervenções.

12.112. - O registro das manutenções deve ficar disponível aos trabalhadores envolvidos na operação, manutenção e reparos, bem como à Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA, ao Serviço de Segurança e Medicina do Trabalho - SESMT e à fiscalização do Ministério do Trabalho e Emprego.

12.113 - A manutenção, inspeção, reparos, limpeza, ajuste e outras intervenções que se fizerem necessárias devem ser executadas por profissionais capacitados, qualificados ou legalmente habilitados, formalmente autorizados pelo empregador, com as máquinas e equipamentos parados e adoção dos seguintes procedimentos:

- a) isolamento e descarga de todas as fontes de energia das máquinas e equipamentos, de modo visível ou facilmente identificável por meio dos dispositivos de comando;
- b) bloqueio mecânico e elétrico na posição “desligado” ou “fechado” de todos os dispositivos de corte de fontes de energia, a fim de impedir a reenergização, e sinalização com cartão ou etiqueta de bloqueio contendo o horário e a data do bloqueio, o motivo da manutenção e o nome do responsável;
- c) medidas que garantam que à jusante dos pontos de corte de energia não exista possibilidade de gerar risco de acidentes;

- d) medidas adicionais de segurança, quando for realizada manutenção, inspeção e reparos de equipamentos ou máquinas sustentadas somente por sistemas hidráulicos e pneumáticos;
- e) sistemas de retenção com trava mecânica, para evitar o movimento de retorno acidental de partes basculhadas ou articuladas abertas das máquinas e equipamentos.

12.113.1 - Outras situações que impliquem a redução do nível de segurança das máquinas e equipamentos e houver necessidade de acesso às zonas de perigo, deve ser possível selecionar um modo de operação que: selecionar um modo de operação que:

- a) torne inoperante o modo de comando automático;
- b) permita a realização dos serviços com o uso de dispositivo de acionamento de ação continuada associado à redução da velocidade, ou dispositivos de comando por movimento limitado;
- c) impeça a mudança por trabalhadores não autorizados;
- d) a seleção corresponda a um único modo de comando ou de funcionamento;
- e) quando selecionado, tenha prioridade sobre todos os outros sistemas de comando, com exceção da parada de emergência;
- f) torne a seleção visível, clara e facilmente identificável.

12.114 - Manutenção de máquinas e equipamentos contemplará, quando indicado pelo fabricante, dentre outros itens, a realização de ensaios não destrutivos - END, nas estruturas e componentes submetidos a solicitações de força e cuja ruptura ou desgaste possa ocasionar acidentes. (Alterado pela Portaria MTPS n.º 509, de 29 de abril de 2016).

12.114.1 - Os ensaios não destrutivos - END, quando realizados, devem atender às normas técnicas oficiais nacionais vigentes e, na falta destas, normas técnicas internacionais.

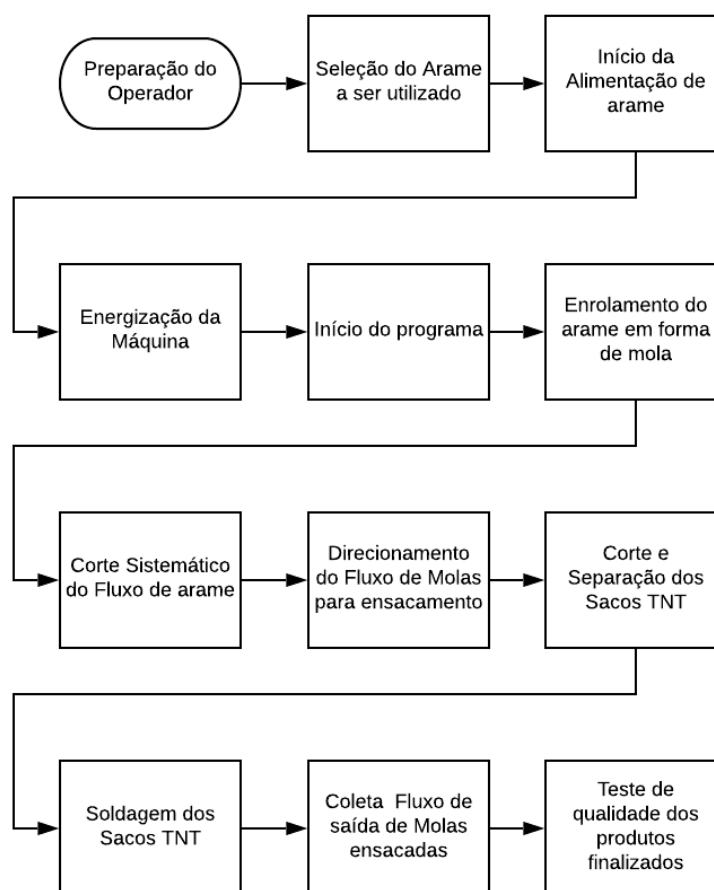
12.115. - Nas manutenções das máquinas e equipamentos, sempre que detectado qualquer defeito em peça ou componente que comprometa a segurança, deve ser

providenciada sua reparação ou substituição imediata por outra peça ou componente original ou equivalente, de modo a garantir as mesmas características e condições seguras de uso.

SÍNTESE FUNCIONAL

O Fluxograma da Síntese Funcional do Sistema tem como objetivo mapear as etapas que constituem todo o processo exercido pela máquina. Através de acompanhamento de processo e consultoria aos operadores a equipe montou todo o fluxograma operacional da máquina.

Figura 5: Fluxograma de Síntese Funcional

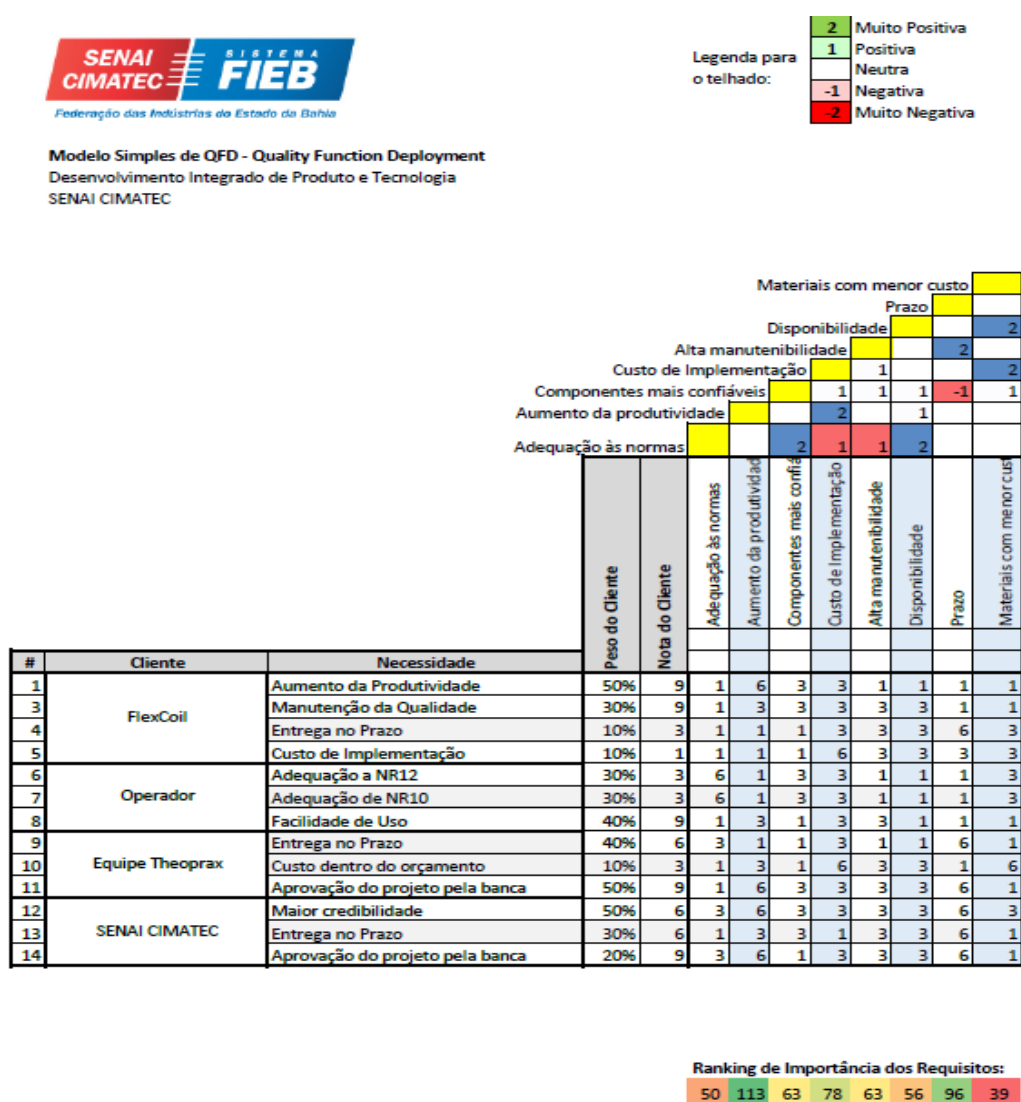


Fonte: Autores, 2018

4. REQUISITOS TÉCNICOS

Para o sucesso do projeto em questão, o cliente disponibilizará de tempo e acesso ao chão de fábrica acompanhado por responsável da área e reuniões quinzenais, evitando assim o desalinhamento das informações que possivelmente causaria retrabalhos. Além disso, o cliente deve dispor do manual da máquina Lian Rou PKT-30, para que a equipe possa compreender o funcionamento do ativo físico e adquirir embasamento para realizar um estudo de caso a fim de se aumentar a produtividade. A indisponibilidade de documentação técnica acarretará em análises empíricas.

Figura 6: Matriz QFD



Fonte: Autores, 2018

- Aumento da produtividade

O cenário ideal para empresas e organizações é sempre produtividade máxima, equilibrando a balança entre gastos e receita garantindo total satisfação do cliente. No cenário atual, deseja-se um aumento da produtividade através de modernizações em equipamentos já defasados com componentes antigos. Se necessário, a implementação de novas funcionalidades no software ocorrerá para atender certa necessidade na parte de automação.

- Custo de implementação

Como em todo projeto, busca-se um custo de implementação acessível e o mais barateado possível, além de baixos custos com manutenção. Custos que sejam relacionados com o projeto deverão ser arcados pela empresa contratante do projeto.

- Prazo

Estabelecer prazos e metas do projeto e deixá-los bem claro para o cliente é de fundamental importância. Durante a elaboração do cronograma foi planejado que no primeiro dia da semana haverá reuniões para que pudesse se estabelecer pequenas metas com prazo de entrega até a reunião seguinte. Além de reuniões com o orientador ao final e início de cada relatório e etapa do projeto para que sejam esclarecidas as atividades a serem desenvolvidas em cada um deles. Sendo assim, o projeto está encaminhado para ser finalizado na data estipulada.

- Alta manutenibilidade

Além de aumentar a produtividade, é desejável uma ampliação nos níveis de manutenibilidade e disponibilidade dos equipamentos, uma vez que equipamentos fáceis, precisos e com segurança na manutenção, aumenta a vida útil, diminui tempo de parada e conseqüentemente aumento da produtividade.

- Disponibilidade


Para atingir sucesso, a disponibilidade não só do equipamento, mas também dos seus componentes devem apresentar uma vida útil prolongada como também suas partes estruturais suportarem os esforços durante a operação. Há possibilidade de reaproveitamento das peças da forma mais rentável possível de acordo com a suas condições operacionais.

5. BENCHMARK

O processo de Benchmark na etapa informacional do projeto será de grande importância para poder compreender e comparar os próprios processos com processos de outras organizações e assim por consequência, ideias melhores para solucionar gaps. No caso em questão, o benchmark será feito no processo de produção do produto principal.

A operação de análise e comparação será feita principalmente nos componentes mecânicos a fim de se obter melhores informações sobre funcionamento, desempenho, produtividade, vida útil, etc. Será feita coleta dos dados de desempenho e a partir desses dados será feito comparativos com outros equipamentos de outros concorrentes, identificando pontos a serem melhorados/aprimorados.

Tabela 1: Benchmark maquinas fabricantes de mola

TABELA BENCHMARK				
MODEL O	IMAGEM ILUSTRATIVA	DIMENSÃO S (mm)	PRODUTIVIDAD E (PÇS/MINUTO)	VALO R (U\$)
Mao- Chuang MC-DZJ- 60A		3190 x 1600 x 2350	60	21.000

KSD SCM-280		1860 x 1600 x 1950	80	29.000
Portal- Tech P309		8550 x 1950 x 2100	85	35.000

Portal-Tech P310		8550 x 1950 x 2100	100	40.000
Lian Rou PKT-30	Máquina do projeto em questão	2470 x 1240 x 2100	40	-

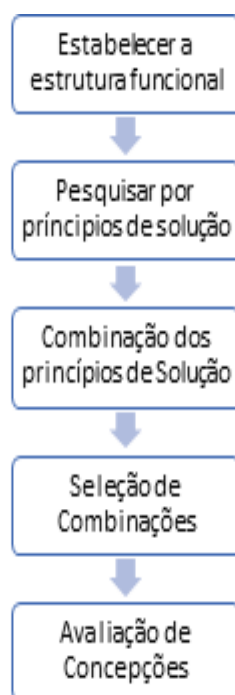
PROJETO CONCEITUAL

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

Com base no conhecimento de desenvolvimento de produto, o projeto conceitual é a fase onde ocorre a concepção do produto, por meio da busca, criação, representação e seleção de soluções (ROZENFELD et al., 2006). Esta é a fase com maior potencial de otimização de retorno do investimento, representando baixo custo e alto benefício (BAXTER, 2000). Para este relatório esta etapa de Projeto Conceitual ajudará a equipe na seguinte relação:

Figura 7: Fluxograma das etapas.

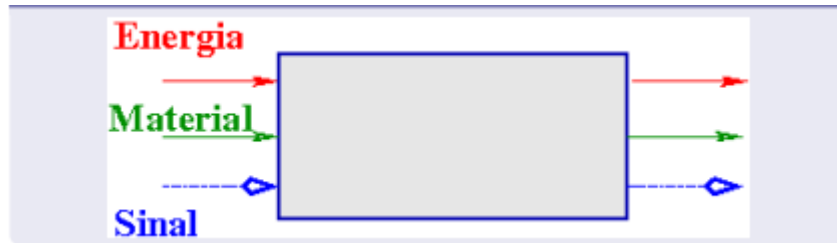


Fonte: Autores, 2018.

Na etapa de estabelecimento da estrutura funcional, analisa-se as especificações de projeto e identifica as restrições. Como exemplo: solução de problemas técnicos é satisfeita com o auxílio de estrutura técnicas, envolvendo conceitos de instalação, equipamento, máquina, aparelho, conjuntos mecânicos, elementos de máquina, ou componentes avulsos. Segundo HUBKA [1987] nessa fase

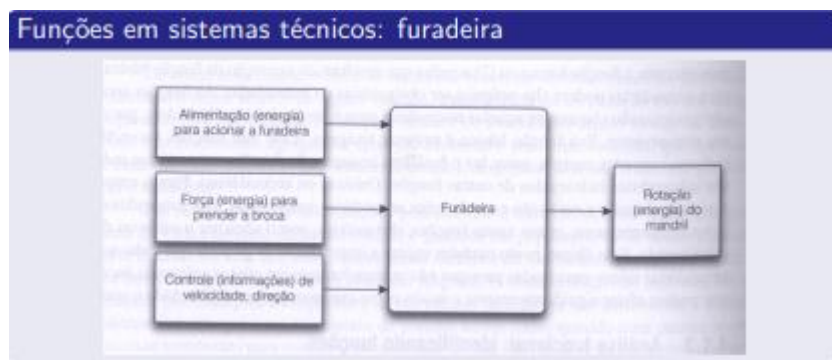
é proposto estudar objetos ou estruturas técnicas como sistemas que estão em contato com a circunvizinhança por meio de variáveis de entrada e saída.

Figura 8: Esboço de sistema em contato com circunvizinhança



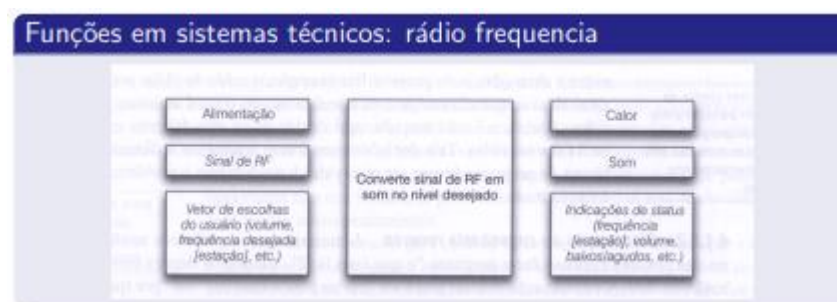
Fonte: Altamir Dias - Dept de Engenharia Mecânica UFSC

Figura 9: Funções em sistemas técnicos - furadeira



Fonte: Altamir Dias - Dept de Engenharia Mecânica UFSC

Figura 10: Funções em sistemas técnicos: rádio frequência



Fonte: Altamir Dias - Dept de Engenharia Mecânica UFSC

Na fase de pesquisa de princípios e soluções: é aplicável métodos de busca.

- Identificar como executar as funções propostas na estrutura funcional;
- Buscar as relações entre as funções;
- Pesquisar os princípios de solução para cada função;

- Identificar os efeitos físicos envolvidos;
- Identificar os portadores de efeitos físicos/ realizadores de função;
- Estabelecer uma representação idealizada (esquemática) da estrutura do sistema a partir da estrutura funcional.

Métodos de Busca de Soluções:

Segundo Dias A. os métodos de busca de soluções são subdivididos da seguinte forma:

- Métodos Convencionais:
 - Pesquisa bibliográfica;
 - Análise de sistemas técnicos existentes;
- Métodos Intuitivos:
 - Brainstorming;
 - Analogia Direta;
 - Analogia Simbólica;
- Métodos Sistemáticos:
 - Matriz Morfológica;
 - Análise de Valor;
 - Função Síntese.

Na etapa de seleção de combinações, há aplicação de métodos de seleção e a partir daí, detalhar as combinações selecionadas. Por fim, na fase de avaliação de concepções aplica-se a matriz de avaliação.

1.2. Objetivos

O objetivo principal desta fase é gerar soluções capazes de satisfazer as necessidades dos clientes e proporcionar base para o projeto detalhado do produto por meio das respostas às questões “por que?” “Onde?” “Quando?” e “Como?” Atingir estas necessidades (PUGH, 1991; OTTOSSON, 2004). A expectativa é que com a matriz morfológica o grupo consiga criar soluções viáveis de componentes para a máquina em que será desenvolvida o projeto.

2. MATRIZ MORFOLÓGICA

A análise morfológica é uma técnica que divide o problema em subproblemas, buscando analisá-los e compreender as suas relações, de um modo sistemático e estruturado. A partir dessa técnica, foi desenvolvida também a matriz morfológica, uma ferramenta que visa estudar sistematicamente um grande número de combinações possíveis entre os elementos ou componentes de um produto ou sistema. Conforme Zwicky (1948), a ferramenta tem o objetivo de identificar, indexar, contar e parametrizar o conjunto de todas as possíveis alternativas para se alcançar o objetivo determinado.

A matriz morfológica tem por objetivo encontrar uma nova solução para o problema listando as funções do produto, os possíveis meios para a solução para cada função requerida e representando visualmente as funções (no projeto em questão serão em média três imagens por função requerida). É uma forma sistemática de gerar alternativas para as soluções, descobrindo assim, componentes ideias para cada finalidade. [adaptado, YAN,1998].

2.1. APLICAÇÃO DA MATRIZ MORFOLÓGICA

A matriz morfológica consiste em uma tabela na qual a primeira coluna vertical contém as características gerais e atributos (partes, funções) que são relevantes para o problema em estudo e as linhas horizontais contém as alternativas para cada atributo ou função (OSTERTAG, OSTERTAGOVÁ, HUNADY, 2012).

A análise morfológica é uma técnica que divide o problema em subproblemas, buscando analisá-los e compreender as suas relações, de um modo sistemático e estruturado. A partir dessa técnica, foi desenvolvida também a matriz morfológica, uma ferramenta que visa estudar sistematicamente um grande número de combinações possíveis entre os elementos ou componentes de um produto ou sistema. Conforme Zwicky (1948), a ferramenta tem o objetivo de identificar, indexar, contar e parametrizar o conjunto de todas as possíveis alternativas para se alcançar o objetivo determinado. (ZAVADIL, Priscila; 2014)

Para a construção da matriz é necessário:

- Analisar e definir o problema, identificando seus principais parâmetros e as características ou funções necessárias à solução;

- Listar soluções, sub-soluções e alternativas para cada função requerida. A solução global do projeto será o conjunto das sub-soluções;
- A partir da criação da matriz morfológica as escolhas são feitas baseados na melhor solução apresentada para os problemas.

Figura 11: Aplicação da matriz morfológica na máquina

Síntese Funcional	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5	Alternativa 6
Início da alimentação de energia	Fornecedor Público	Bateria	Gerador	Energia Sustentável*		
Acionamento da máquina	Pneumático	Eletropneumático	Hidráulico	Eletróhidráulico		
Mecanismo de acionamento da máquina	Botoeira	Disjuntor	Alavanca	Automatizado (Intraweb)*	Automatizado (IoT)*	Painel Eletrônico
Início da alimentação de arame	Carretel	Trefilação				
Fluxo corrente da alimentação de arame	Polias com motor	Manual	Guia sob trilhos			
Conformação do arame em mola	Conjunto de roldanas	Roldana				
Corte das molas	Barra de torneiar com incerto	Conjunto came seguidor c/ guilhotina	Punção	Corte a laser	Corte por água	Serra elétrica
Ensacamento das molas	Manual	À vácuo	Pneumático			
Agrupamento das molas ensacadas	Solda	Costura				

Fonte: Autores, 2019

3. CRIAÇÃO E SELEÇÃO DE CONCEITOS PARA VALIDAÇÃO DE CONCEITOS

Esta etapa consiste em analisar se um produto, sistema ou serviço atende a determinados requisitos e especificações, de modo a cumprir a sua finalidade requerida. São análises críticas oriundas de um sistema de qualidade, como a ISO 9000. Sendo assim, a etapa de validação em si é o processo de confirmação que o componente está apropriado e em concordância com os requisitos

No projeto em questão, o processo de validação de conceitos é realizado a matriz morfológica, onde há mais de uma opção para todas as funcionalidades estabelecidas na síntese funcional, optando pela opção que garanta ao cliente as suas expectativas atendidas. Levando em consideração fatores como custo, segurança, praticidade, produtividade, manutenibilidade e entre outros.

Sendo assim, a primeira etapa a ser estudada da matriz morfológica é o início de alimentação de energia, para esta, foram selecionadas as opções de energia de fornecedor público, bateria, gerador e energia sustentável (painel fotovoltaico e entre outros). O gerador e a energia sustentável exigem um custo inicial de implementação, mas garantem uma maior confiabilidade no processo. O gerador opera em standby, entrando em operação caso tenha queda de alimentação das fontes externas, porém são exigidos gastos com manutenção, sobressalentes e combustíveis, além da implementação. O painel fotovoltaico tem uma manutenção pequena e barata, com longa vida útil, gerando grande economia em gastos de energia, a longo prazo. Assim, em caso de sobra de recursos para investimento, optar por energia sustentável para alimentar a fábrica ou um gerador para operar em standby em caso de falha do fornecedor externo, é uma boa proposta.

O mecanismo de acionamento da máquina pode ser realizado por botoeira, disjuntor, alavanca, automatizado (intra web ou *Internet of Things*) ou painel eletrônico. O mecanismo de acionamento automatizado é oriundo da Indústria 4.0 e garante um sincronismo em toda a linha produtiva, porém exige um custo muito alto de implementação, o que torna a ideia inviável. A botoeira fica um passo à frente em relação aos outros demais por ser acionado milhares de vezes sem falhar, além de proporcionar maior segurança pelo simples fato de ser mais prático inclusive em paradas de emergência. E o acionamento da máquina continua sendo melhor o

eletropneumático, visto que não são necessários grandes esforços para a fabricação de molas.

O início da alimentação de arame na máquina é uma função exercida melhor pelo carretel, por obter um excelente sincronismo com a máquina mesmo sem ser automatizado. Além do arame obtido por trefilação ser terceirizado.

O arame precisa ser alimentado em corrente na máquina de modo incessante. Para esta síntese funcional foram analisadas polias com motor, guia sob trilhos e alimentação contínua pelo operador. A última hipótese foi logo descartada, visto que todo processo repetitivo pode ser automatizado, tendo isso em vista, a melhor e mais viável para a máquina é o fluxo corrente de arame por polias com motor.

Uma das sínteses mais importantes é a transformação física da matéria prima (aramé) em produto acabado (mola). Para tal, é utilizado a roldana, que pode formar diferentes combinações e mecanismos. Pode ser uma única roldana fixa onde o arame vai ser obrigado a passar, ganhando o formato helicoidal, ou uma roldana fixa e outro móvel, onde a móvel obriga o arame a passar pela fixa, podendo variar o diâmetro da mola e reduzindo o esforço mecânico para a fabricação da mesma. Porém toda a configuração precisa ser mudada, o que não compensa, já que a roldana fixa já existente cumpre bem a sua função.

Para separar uma mola da outra é necessário um mecanismo para realizar cortes sistemáticos. Para essa síntese funcional foram selecionados componentes como barra de toronar com incerto, guilhotina, punção, corte a laser, corte por água e serra elétrica. Muitos desses são processos caros de usinagens especiais, utilizados para geometrias complexas e entre outros, tendo em vista que a funcionalidade exercida é um simples corte, sua viabilidade não compensa. Por ser um corte a frio que promove o cisalhamento do material sistematicamente, a guilhotina se firma como a melhor opção.

PROJETO BÁSICO E DETALHADO

1. INTRODUÇÃO

O trabalho desenvolvido pelos alunos do último ano do curso de graduação de engenharia mecânica do SENAI CIMATEC, consiste na otimização de funcionalidades mecânicas de uma máquina de fabricação de molas para reduzir custos operacionais e melhorar sua performance. Nesse relatório é apresentado toda parte básico e detalhado do projeto.

Na etapa básica foi desenvolvido um FMEA, de cada parte crítico do sistema mecânico da máquina, bem como uma análise detalhada desses componentes e ações recomendadas para resolução desses problemas, podendo desenvolver assim um novo sistema mecânico e todo o orçamento envolvido nesse projeto. Na etapa detalhada foi desenvolvido modelos CAD e análise de elementos finitos.

1.1. Justificativa

O retrofit da máquina de fabricação de molas foi escolhido como objeto de trabalho, visando a possibilidade de trazer um impacto sensível para a linha fabril do cliente, uma vez que os modelos utilizados se mostraram obsoletos e com espaço para melhorias. Através da melhoria se espera obter uma redução dos custos com manutenção da máquina e melhores condições do ambiente de trabalho para o operador.

2. FMEA

FMEA é uma ferramenta de qualidade usada para prevenir falhas e analisar os riscos de um processo. A utilização da FMEA passa pelas seguintes etapas:

1. **Determinação dos modos de falha:** Dados que são coletados no campo e que representam todas as falhas que podem ter em um processo,
2. **Análise de riscos de cada modo de falha:** O modo de falha trabalha passa por 3 etapas: determinação da **severidade** da falha (quão ruim vai ser se ela acontecer), **determinação da ocorrência** da falha (quão

frequentemente ela de fato ocorre) e **determinação da probabilidade de detecção** da falha (o quão fácil é percebermos que ela ocorreu;

3. **Cálculo do RPN (*risk priority number*):** esse indicador é calculado pela multiplicação das análises da severidade, determinação da ocorrência e determinação da probabilidade de detecção. Quanto maior a pontuação, mais crítica é a falha e maior a atenção que ela deve receber quando for estabelecido um plano de ação corretivo.

Com base nas análises realizadas no chão de fábrica e o pelo histórico levantando da máquina foram elencados os principais componentes da caixa de redução, aos quais ocorrem falhas. Estes são: conjunto came-seguidor, rolamento, engrenagens, navalha e discos. Nos foi relatado que cada componente quebra com uma periodicidade média de 2 a 4 meses, o que evidencia um déficit na disponibilidade dos equipamentos mecânicos. Segundo relatado pela operação normalmente para a substituição da caixa mecânica, a máquina permanece parada por 03 horas o que demonstra uma perda de 28.800 molas/ano por máquina, admitindo uma média geral de quebra dos componentes de 3 meses. Para uma análise mais aprofundada dos, foi realizado um FMEA (análise do modo de falha e seus efeitos), dos componentes levantados.

Figura 12: FMEA da caixa mecânica.

Descrição do Produto	Função(ões) do Produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito da Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices			
						S	O	D	R
Caixa Mecânica	Came seguidor	Não ocorre transmissão do movimento do eixo longitudinal responsável pelo avanço do afastador	Molas não terão 'comprimento'	Desgaste	Substituição do came a cada 3 meses	6	2	6	72
	Rolamento	Desgaste	Não garante a fixação e transmissão do movimento dos eixos	Contaminação, deficiência na lubrificação e desalinhamento	Substituição do rolamento a cada 2 meses	6	5	3	90
	Navalha	Perda da funcionalidade "corte"	Fabricação de mola ininterrupta	Vedamento impróprio do relógio	Substituição da Navalha a cada 4 meses	9	3	5	135
	Discos	A máquina não produz a peça acabada	O arame não é direcionado para a caixa mecânica	Desgaste	Substituição dos discos a cada 2 meses	3	1	2	6
	Engrenagens	Desgaste por interferência, quebra por sobrecarga, desgaste por abrasivos, trincas superficiais, superaquecimento	Transmissão de movimento comprometida, parada total no sincronismo da caixa mecânica	Lubrificação inadequada	Substituição das engrenagens a cada 3 meses	3	4	1	12

Fonte: Autores, 2019.

3. CONJUNTO CAME-SEGUIDOR

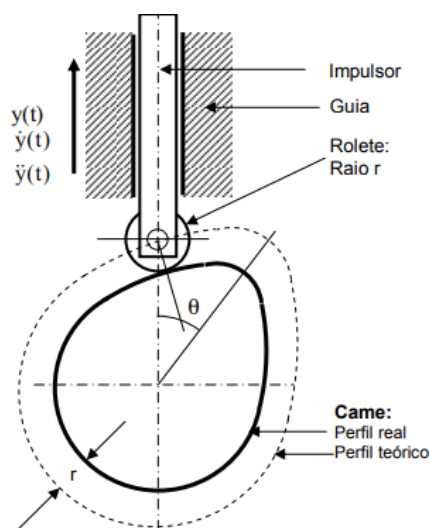
Cames de acordo o Norton (2010), são mecanismos compactos que possibilitam deslocamentos de pequena amplitude através de movimento cíclico. Podem ser classificados de muitas maneiras diferentes:

- Pela movimentação;
- Pelo tipo de came;
- Pelo tipo de junta;
- Pelo tipo do seguidor;
- Pelo tipo de movimento cíclico;
- Pelo tipo de Programação de movimentação

A aplicação do came é bastante conhecida sobretudo na indústria do automóvel, por exemplo na incidência em motores de 4 tempos, para que o uso de válvulas de admissão e escape são comandadas por excêntricos ou cames. A figura 13 representa um esquema elementar do mecanismo de came e esse será o mecanismo usado no

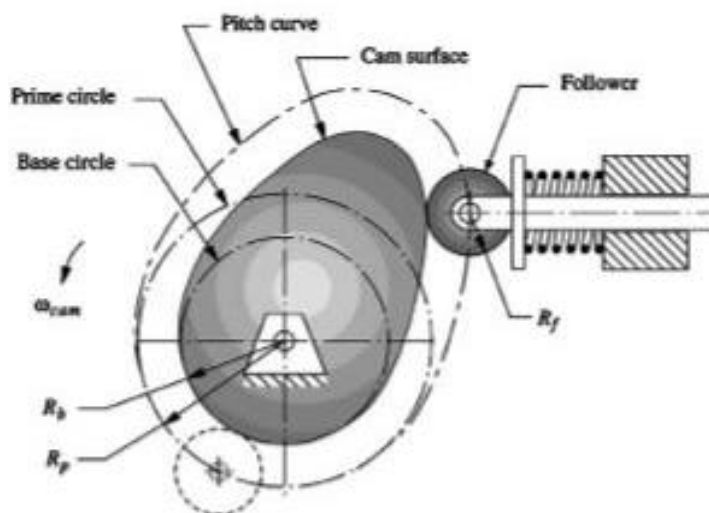
projeto desenvolvido pela equipe. “O raio de rolete r está sempre à mesma distância do perfil real, definindo deste modo a geração de um perfil teórico, que permite o mesmo deslocamento ao impulsor que no caso do rolete, mas agora com o rolete suprimido e no lugar do seu centro geométrico está agora um gume que termina no perfil teórico.” CARNEIRO, Joaquim (2008).

Figura 13: Came associado um impulsor de rolete.



Fonte: Norton.

Figura 14: Configuração e nomenclatura utilizada em pares came-seguidor.



Fonte: Norton.

Na caixa de engrenagem da Lian Rou PKT-30 existe um par came-seguidor situado na parte externa. Com a perda da função do came, não seria proporcionado o

movimento cíclico desejado do eixo inferior longitudinal, que tem função de deslocar o afastador que vai dar comprimento e geometria helicoidal a mola.

O atual came possui o MTBF muito baixo, apresentando no máximo 3 meses entre uma falha e outra. Sendo assim, para aumentar a disponibilidade da máquina e conseqüentemente alcançar o aumento de produtividade será projetado um novo came. A equipe optou por manter came ao invés de mecanismos de quatro barras visto que apresentam algumas características que o tornam mais atrativos.

Para a tarefa de desenvolver novos comes com maiores MTBF's foi utilizado o *software* DYNACAM. O mesmo dá um aspecto mais profissional ao projeto apresentado, tendo em vista que é um programa desenvolvido pela *R. L. Norton Engineering*.

Assim, o came precisa ter quatro segmentos, são eles:

- Subida (*Rise*) 23,25 mm em 90°;
- Repouso (*Dwell*) até 180°;
- Descida (*fall*) de 23,25 mm em 270°;
- Repouso (*Dwell*) até 360°.

Rotação do eixo came: 150 rpm.

Figura 15: Parâmetros iniciais no software.

Cam Omega

150 RPM

15.70796 rad/sec

Delta Theta (deg)

▼ 1.0

No. of Segments

4

Clear Data on Change

Clear BCs on Change

Follower

Translating (m)

Oscillating (deg)

Starting Angle

0 deg

Turn External Force On

Function to be Created

Follower Motion

External Force

Segment Data

Seg	Angles			Motion	Cam Contour Program	Position (m)		Examples
	Beta	Start	End			Start	End	
1	90	0	90	Rise	67 - 4567 Poly	0	0.02325	Calculate Plot Print
2	90	90	180	Dwell	DW - Dwell	0.02325	0.02325	Calculate Plot Print
3	90	180	270	Fall	45 - 345 Poly	0.02325	0	Calculate Plot Print
4	90	270	360	Dwell	DW - Dwell	0	0	Calculate Plot Print
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								

Fonte: DYNACAM 10.

Figura 16: Ampliação da figura 15.

Cam Omega

150 RPM

15.70796 rad/sec

Delta Theta (deg)

▼ 1.0

No. of Segments

4

Clear Data on Change

Clear BCs on Change

Follower

Translating (m)

Oscillating (deg)

Starting Angle

0 deg

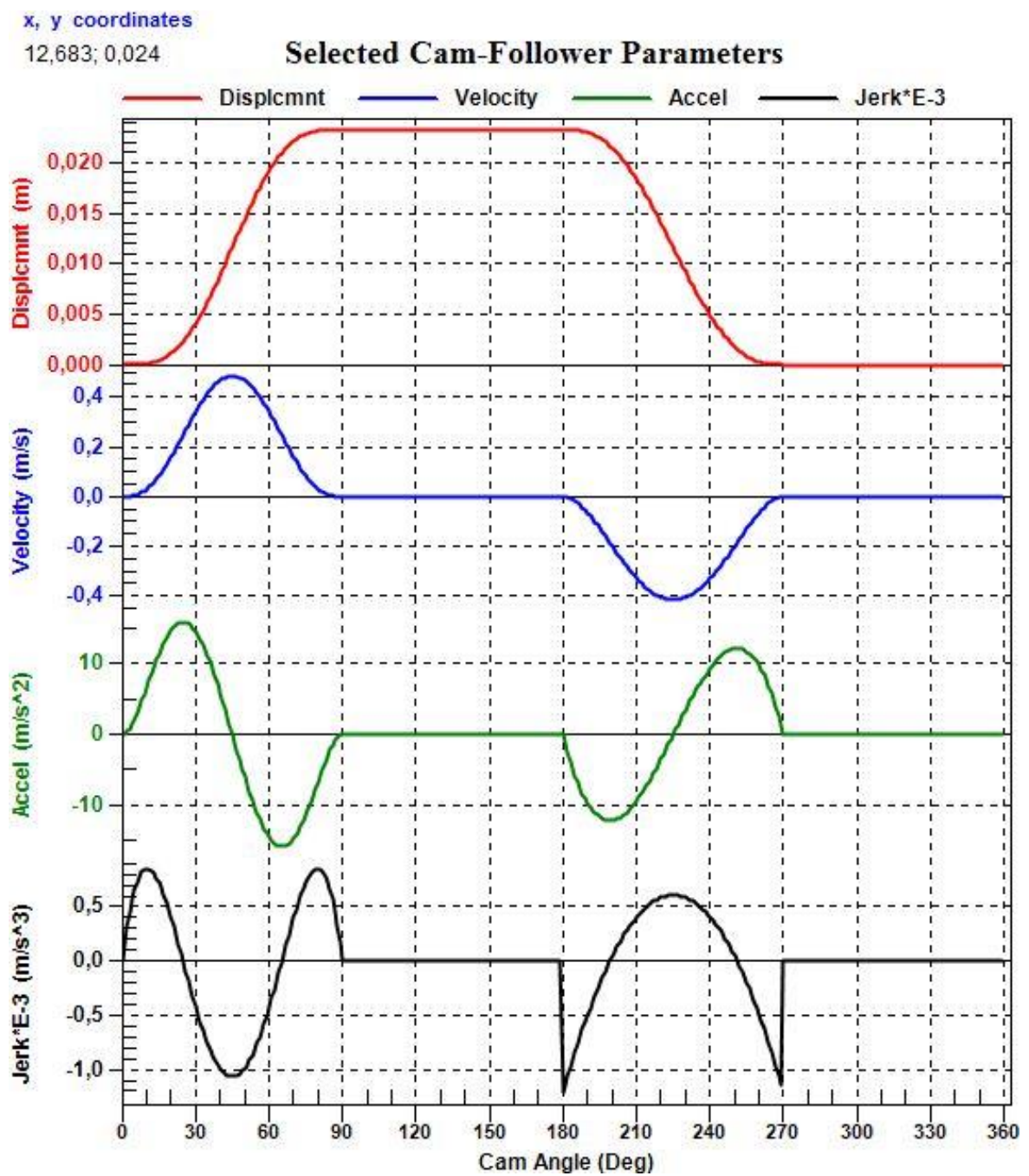
Segment Data

Seg	Angles			Motion	Cam Contour Program	Position (m)	
	Beta	Start	End			Start	End
1	90	0	90	Rise	67 - 4567 Poly	0	0.02325
2	90	90	180	Dwell	DW - Dwell	0.02325	0.02325
3	90	180	270	Fall	45 - 345 Poly	0.02325	0
4	90	270	360	Dwell	DW - Dwell	0	0
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Fonte: DYNACAM 10.

Como pode se observar e já mencionado antes, a rotação é de 150 RPM, o número de segmentos são 4, o Beta é o intervalo angular que dura cada um dos segmentos e *Position* é a posição de avanço do seguidor, em metros, ao início (*Start*) e ao final (*End*) de cada um dos segmentos. Além disso, foi informado adicionalmente o tipo de deslocamento do seguidor como sendo translação (parte que diz respeito a *Follower*), dada em metros.

Após definidos os parâmetros iniciais de cada segmento, foi passado para a fase da análise gráfica onde apresenta os valores de máximos e mínimos de cada gráfico. Onde o DYNACAM os apresenta conforme a figura 17.

Figura 17: Gráficos de SVAJ em função de θ .

Fonte: DYNACAM 10.

Tabela 2: Máximos e mínimos de cada função.

Função	Máximo	Mínimo	Varição
S [m]	+0,02325	0	0,02325
V [m/s]	+0,486	-0,416	0,902
A [m/s ²]	+15,928	-15,928	31,857
J [m/s ³]	+0,850	-1,215	2,065

Analisando os resultados apresentados, foi comprovado o deslocamento máximo de 0,02325 [m] do seguidor, ocorrendo quando o came se deslocou 90°, permanecendo nessa posição até 180° para manter o afastador em condições de conformar a mola, depois será recuado através do deslocamento do seguidor de 0,02325 [m] até 0 e a partir da posição 270° o seguidor permanece na posição “zero” para a navalha poder realizar o corte da mola e assim começar a fabricação da próxima.

Já a velocidade apresentou um valor máximo de +0,486 [m/s] e um mínimo de -0,416 [m/s]. O momento que esses extremos foram atingidos serão melhores quando for gerada a tabela com os valores de cada gráfico.

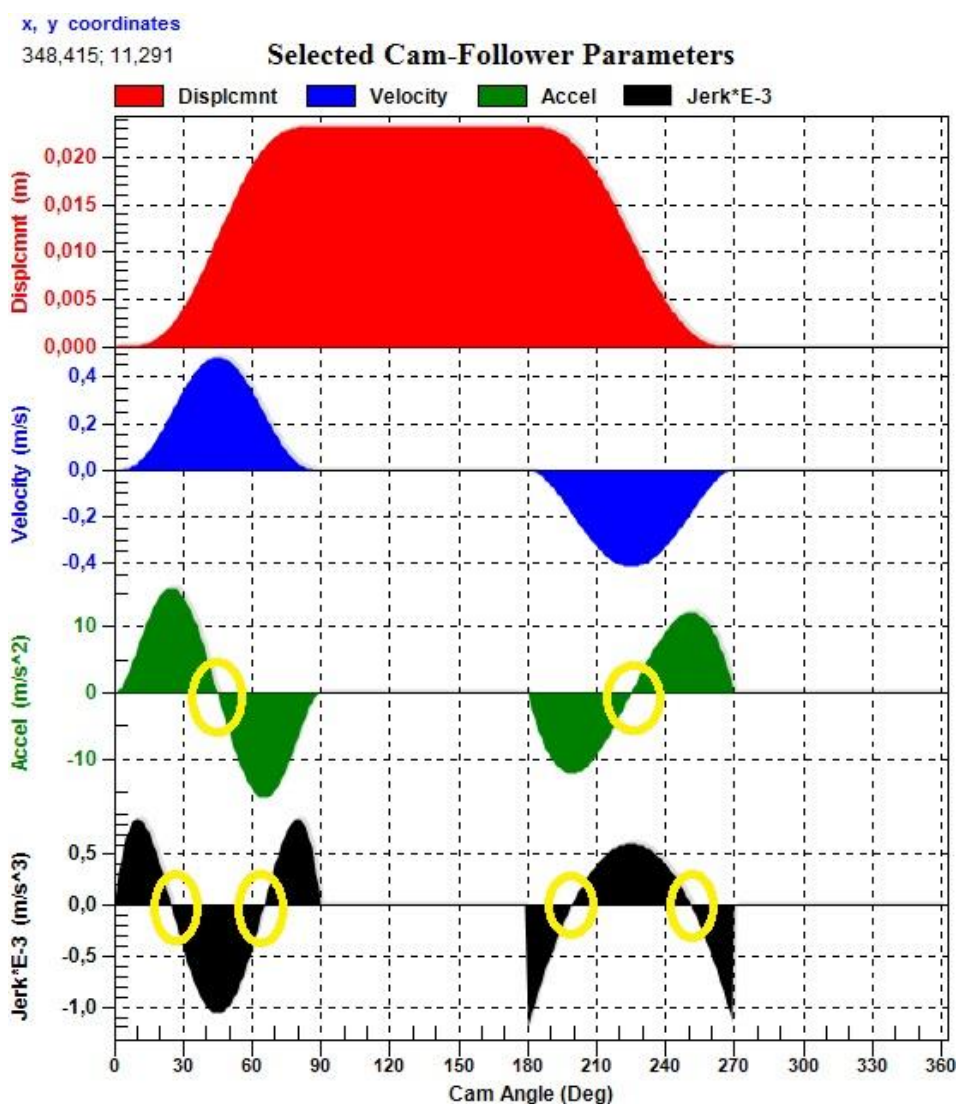
A aceleração, que é um dos pontos mais críticos do projeto de came, deve ser analisada mais cautelosamente. Foram constatados os valores de máximo e mínimo de +15,928 [m/s²] e -15,928 [m/s²] respectivamente. O valor negativo (mínimo da função) indica que no momento em que isso ocorre, o conjunto came seguidor terá mais dificuldade de manter-se em contato, o que pode ser atenuado pela massa de cada componente. Além disso, o valor da aceleração serve para indicar a mola que será utilizada.

A última curva, denominada de jerk, é obtida através da terceira derivada do deslocamento. Precisa-se atentar para não ter picos muito agudos visto que isso ocasiona as vezes o aumento indesejado da vibração, o que pode ser amenizado por com a escolha adequada da mola do seguidor e com a escolha dos parâmetros adequados (ângulo de pressão). Os valores mais elevados ocorrem no 1° e 3° segmento.

Mais um recurso do DYNACAM é a geração de tabelas referente ao SVAJ para enriquecer a análise gráfica já realizada anteriormente. Então, nos anexos do relatório encontra-se a tabela com os dados de SVAJ, onde tem os respectivos valores de cada função em relação a cada ângulo (de 0° a 360°) dispostos numa única tabela, ficando ainda mais fácil a comparação de cada segmento.

Analisando a tabela torna-se possível determinar com mais clareza os pontos de inflexão das curvas, em outras palavras, quando há uma mudança na concavidade da curva. Desse modo, quando se deseja determinar um ponto de inflexão na curva do deslocamento (S), podemos analisar os pontos críticos da velocidade.

Figura 18: Pontos de inflexão.



Fonte: DYNACAM 10.

Tabela 3: Pontos de inflexão.

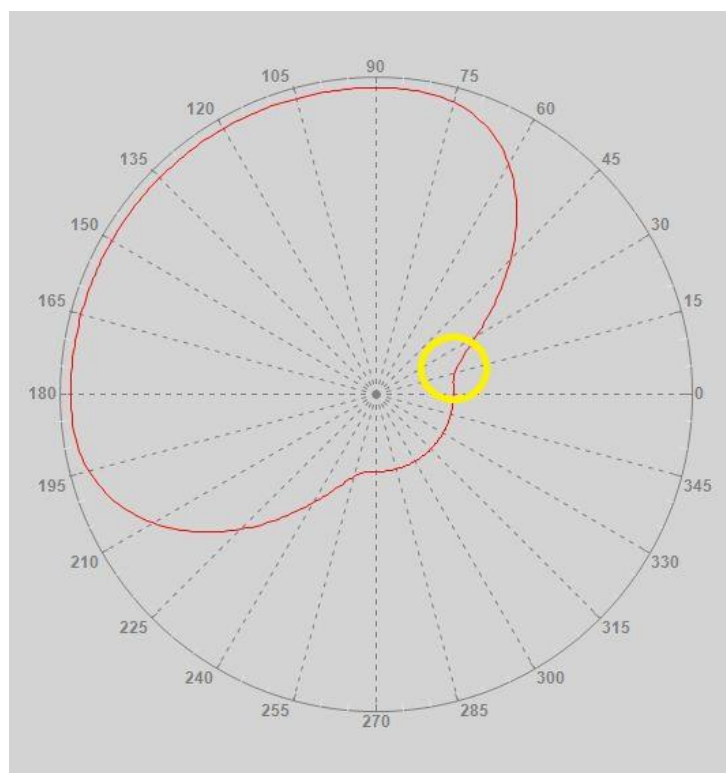
Curva	Inflexão em θ [°]
S	45 e 225
V	25, 65, 200 e 250
A	10, 45, 80 e 225
J	-

Perfil do came

Agora é possível especificar o perfil do came de acordo com as condições da proposta inicial.

Para dimensionar o came é necessário levar em consideração o deslocamento total que o seguidor deverá ter, este que será de rolete por proporcionar menor desgaste do mesmo, sendo, portanto, igual a 23,25 [mm]. Isso acarreta que o raio base não pode ser próximo ou menor que 23,25 [mm], caso contrário, terá uma irregularidade no perfil do came. Como é evidenciado na figura 19.

Figura 19: Problema do raio primitivo < 23,25 [mm].



Fonte: DYNACAM 10.

Por conta dessa restrição e objetivando otimizar o perfil do came, foram adotadas as seguintes dimensões:

- Raio base de 50 [mm]
- Raio cutter de 25 [mm]
- Excentricidade nula
- Raio do rolete de 8 [mm]

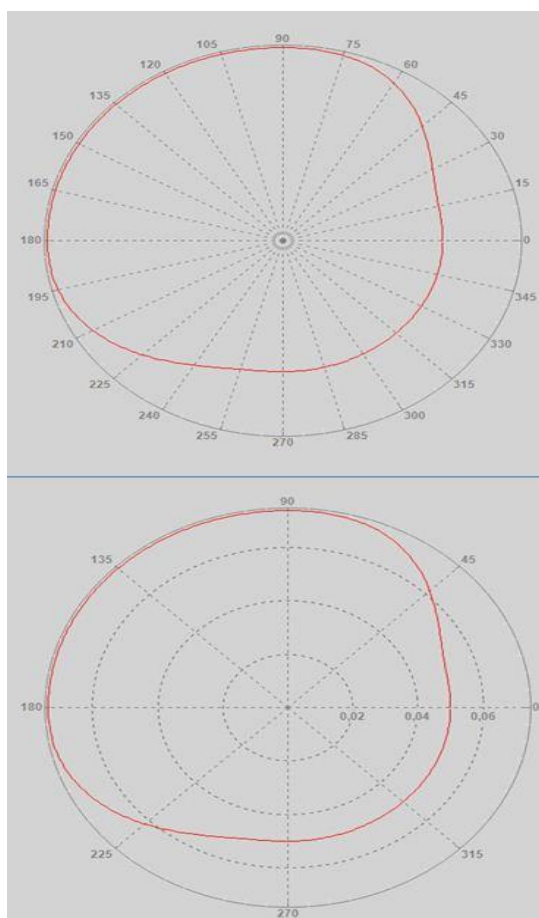
Figura 20: Parâmetros acima no *software*.

The image shows a software interface with two panels of input fields. The top panel contains three fields: 'Prime Radius' with a value of 0,05 m, 'Roller Radius' with a value of 0,008 m, and 'Cutter Radius' with a value of 0,025 m. The bottom panel contains two fields: 'Offset (Eccentricity)' with a value of 0 m and 'Follower Angle' with a value of 0 deg. All input fields are highlighted in yellow.

Parameter	Value	Unit
Prime Radius	0,05	m
Roller Radius	0,008	m
Cutter Radius	0,025	m
Offset (Eccentricity)	0	m
Follower Angle	0	deg

Fonte: DYNACAM 10.

Figura 21: Perfil do came.



Fonte: DYNACAM 10.

Ângulo de pressão

Outro dado importante a ser levado em consideração é o ângulo de pressão, que é o responsável por determinar quão eficiente será o contato entre o came e o seguidor, que no caso é o de rolete por proporcionar menor desgaste. Caso esse ângulo seja maior que 35° o mecanismo pode sofrer esforços desnecessários e portanto, tornando o sistema suscetível a falhas.

Adicionando no DYNACAM 10 as dimensões do came adotadas e já mencionadas anteriormente, o *software* apresentou os valores do ângulo de pressão e curvatura apresentadas abaixo.

Figura 22: Valores de ângulo de pressão e raio de curvatura.

Maximum pressure angle = 28,06 deg @ cam angle 42 deg

Minimum pressure angle = -24,59 deg @ cam angle 229 deg

Smallest positive radius of curvature = 0,036 m @ cam angle 64 deg

Largest positive radius of curvature = 15,599 m @ cam angle 28 deg

Smallest negative radius of curvature = -0,265 m @ cam angle 21 deg

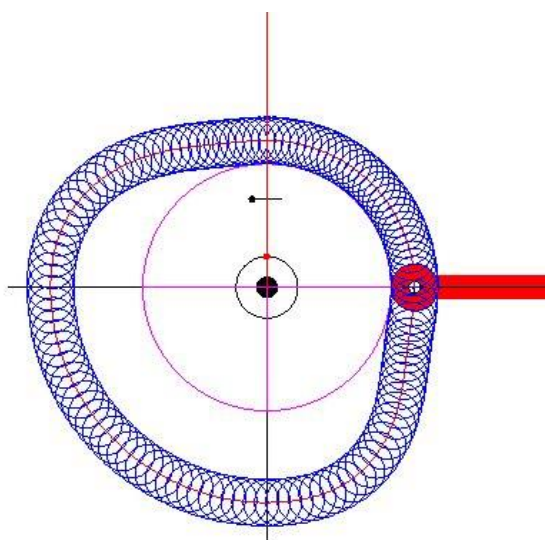
Largest negative radius of curvature = -1,137 m @ cam angle 27 deg

Fonte: DYNACAM 10.

Nota-se que o máximo e o mínimo ângulo de pressão se mantêm menores que 30° , respeitando assim a literatura e garantindo o menor desgaste possível. Além disso, o software fornece em que angulações irão ocorrer os pontos críticos de pressão, sendo respectivamente 42° e 229° . Sendo também fornecidos os valores de maior e menor raio de curvatura do came, positivo e negativo e, assim como no ângulo de pressão, as angulações em que ocorrem.

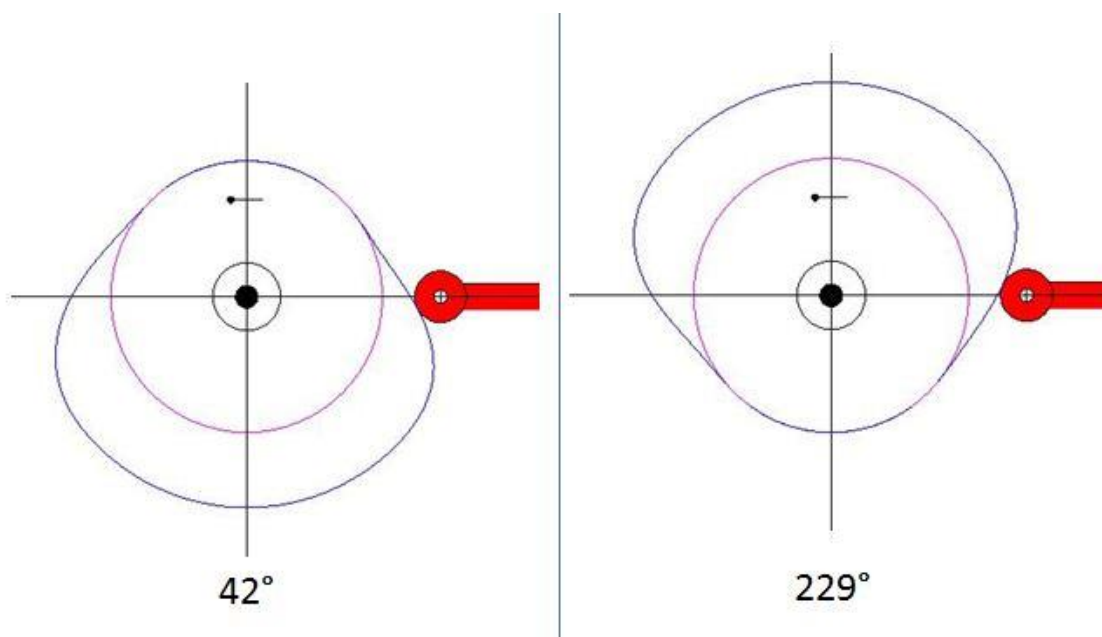
Aumentando-se o raio base diminui-se o ângulo de pressão, tendo em vista que o ângulo de pressão já se apresenta menor que 30° , foi preferível manter o raio base em 50 [mm] a fim de não aumentar muito a massa giratória.

Figura 23: Trajetória do seguidor.



Fonte: DYNACAM 10.

Figura 24: Pontos de trajetória do seguidor em que existirá pressão máxima.



Fonte: DYNACAM 10.

Material do came

Para construção do came foi escolhido o aço AISI 5120. Este tipo de aço se caracteriza por ser uma baixa liga de aço carbono com alta qualidade. O AISI 5120 é recomendado para eixos e árvores de came, engrenagens, pinos e êmbolos. Para o projeto foi definido também uma cementação de 0,5 mm. A cementação aumenta a dureza do aço, proporcionando uma resistência melhor a fadiga.

Com o uso do software *Solidworks* foi calculado uma área superficial aproximada do came de 0,003609342 [m²]. Com a massa específica do aço AISI 5120 7850 [kg/m³]. Com a espessura do came de 6 [mm] o volume encontrado foi de 0,000021656 [m³]. Usando a relação de massa e volume para a massa específica é possível encontrar o valor da massa.

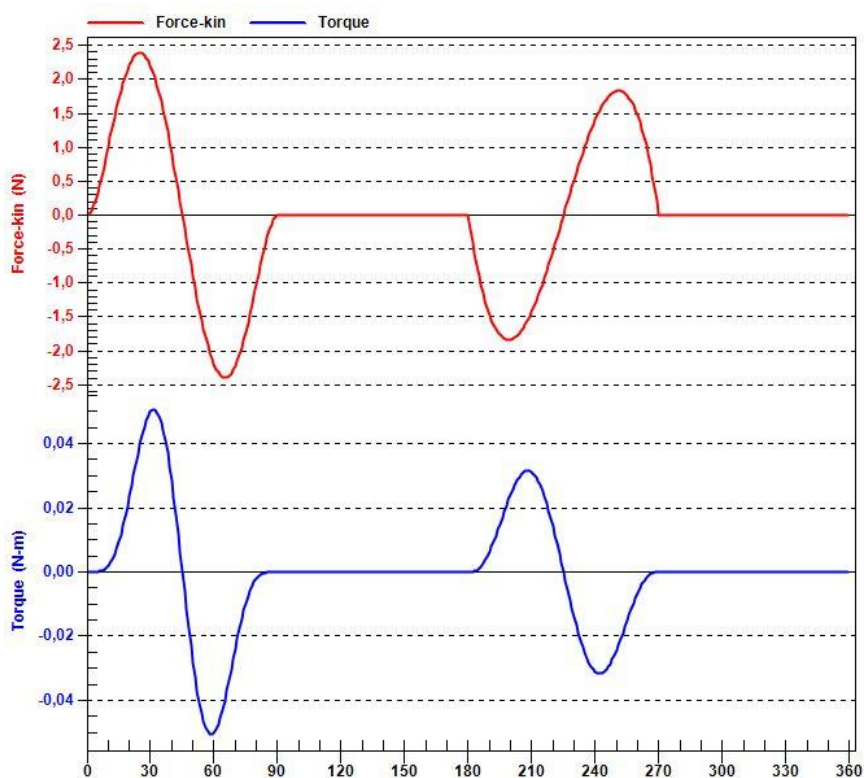
$$m = \rho \cdot V = 0,17 \text{ kg}$$

Força e torque

Como em todo e qualquer mecanismo, é necessário calcular as forças ali envolvidas de forma dinâmica. Sendo assim, primeiramente será determinado a força e torque que atuam sobre o mecanismo.

Sabendo-se que o came possui massa de 0,17 [Kg] e sabendo que a aceleração máxima é de 15,928 [m/s²] (mencionado anteriormente na tabela 3), assim, o próprio software estima a força necessária para subir o sistema em 23,25 [mm]. Na figura 25 são mostrados os gráficos de força e torque em função do deslocamento angular do came. No anexo 1 encontram-se todos os valores de força e torque em função de θ .

Figura 25: Gráficos de força e torque em função de θ .



Fonte: DYNACAM 10.

Tabela 4: Força e torque críticos em função de θ .

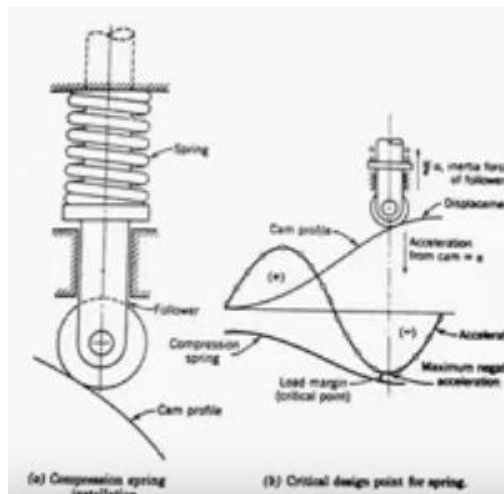
Força [N]	θ [°]	Torque [N.m]	θ [°]
+2,4	25	0,1	30
-2,4	65	-0,1	60

Especificação da mola do seguidor

Para especificação da mola, é necessário analisar o ponto crítico do deslocamento, em outras palavras, onde o deslocamento é máximo e

consequentemente onde o conjunto came seguidor tende a perder o contato. A figura abaixo detalha melhor esse momento.

Figura 26: Contato came seguidor no instante crítico.



Fonte: RORHBART, Harold A. (1956).

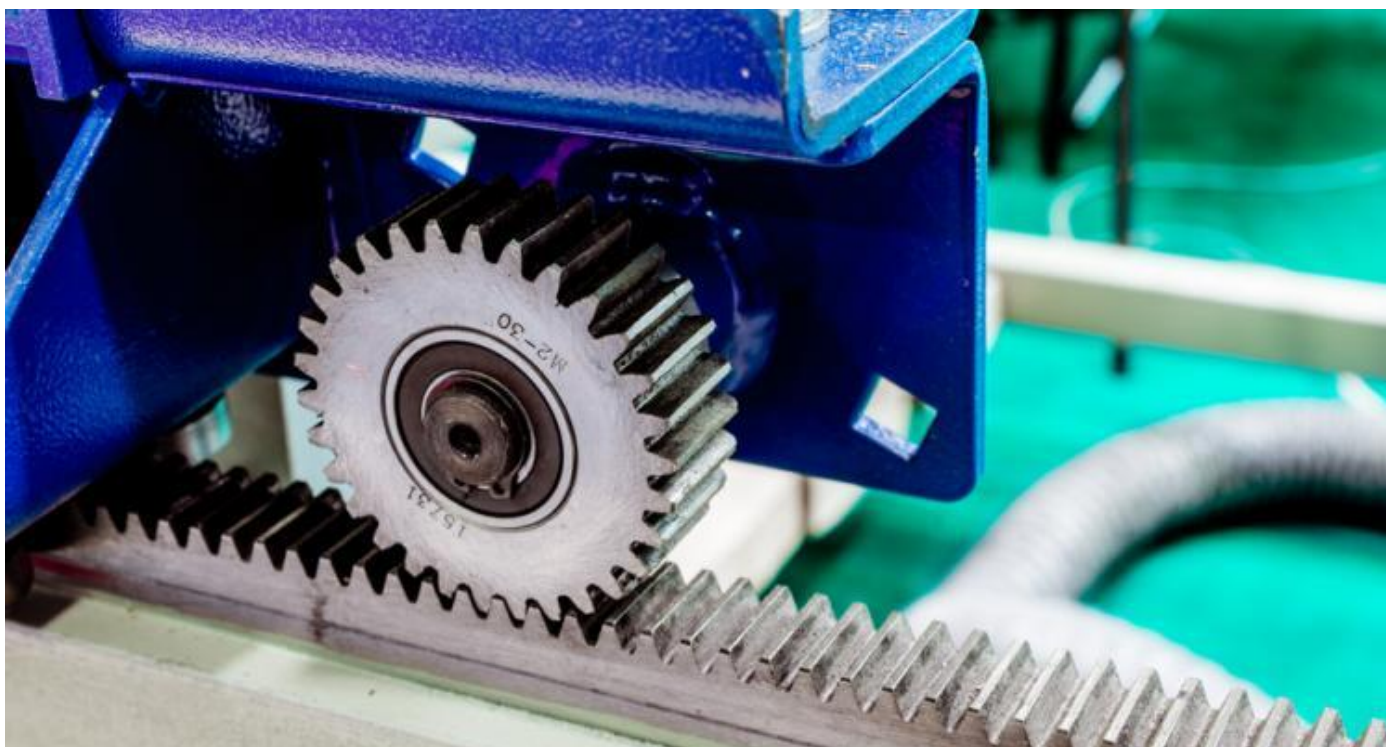
Desse modo, a mola precisa ser calculada baseada nesse ponto, que, como já calculado anteriormente, terá um valor de 2,4 [N]. Porém, a mola precisa ser necessária somente para manter o came e seguidor em contato, e não para impedir a rotação do came, sendo assim, para dimensionamento da mola do seguidor será admitido somente 1/2 do valor da força máxima. Enquanto que o deslocamento da mola precisa ser maior do que o da amplitude, para que a mola possa trabalhar com folga ao invés do limite máximo. Segundo RORHBART(1956), recomenda-se utilizar um excesso de 30 a 50%. Aplicando esses valores na Lei de Hooke, obtém-se:

$$k = \frac{f}{x} = 45,87 \frac{N}{m}$$

4. ENGRENAGENS

As engrenagens são elementos para transmissão de energia e rotação em um sistema. Existem vários tipos de engrenagens que variam de formato, composição, tratamento. Cada engrenagem é utilizada em um sistema determinado onde tem o melhor aproveitamento de suas características.

Figura 27: Engrenagem de dente reto.



Fonte: A voz da indústria.

O sistema atual da máquina utiliza de engrenagens de dente reto, essas engrenagens são as mais comuns no mercado e possuem baixo custo. Elas são bastante usadas em máquinas industriais, em veículos pesados (caminhão, trator...) ou em transmissões que têm mudança de posição durante operação (elas são usadas por terem fácil engate). Porém, elas são usadas em componentes de baixa rotação pelo fato de produzirem alto ruído e por não permitirem altos valores de torque transmitidos.

Para aumentar a faixa de torque de trabalho do sistema, garantindo uma maior confiabilidade, e também para que tenha menos ruído na máquina entrando em um ponto ergonômico, as engrenagens helicoidais são as mais aconselhadas para o serviço, visto que para que a gente consiga aumentar o torque aplicado ao sistema sem afetar a confiabilidade do mesmo, essas engrenagens são as mais aconselhadas e de fácil acesso no mercado.

Figura 28: Engrenagem helicoidal.



Fonte: AZANELLI.

Para que a substituição de engrenagens retas para helicoidais seja possível as novas engrenagens devem ter as mesmas dimensões a fim de não afetar na relação de engrenagens do sistema. As diferenças geométricas entre as duas engrenagens apresentadas não afetam em modificações estruturais na máquina.

Figura 29: Esquema atual da máquina.



Fonte: Autores, 2019.

O esquema atual da máquina utiliza 3 engrenagens cilíndricas de dentes retos, sendo duas com as mesmas dimensões (52 dentes, 124,8 mm de diâmetro, com passo de 7,5 mm) e uma menor de 74,15 [mm], com 38 dentes e 6,12 [mm] de passo. O material é o Aço SAE 1045/C45 com têmpera por indução nos dentes. Com dentes e faces retificados. Qualidade 6 segundo DIN 3962. Furo Guia.

5. ROLAMENTOS

Os rolamentos são dentre os componentes mecânicos, um dos mais importantes para o correto funcionamento do maquinário, além de conferir ligação entre os componentes com movimento relativo de rotação.

A falha/quebra deste componente mecânico compromete o funcionamento do equipamento levando a paradas prolongadas ocasionando em elevados prejuízos financeiros e prejuízos aos processos, tendo em vista que equipamentos essenciais como bombas, ventiladores, compressores, motores, correias transportadoras, etc trabalham em conjunto com mancais de rolamento.

As causas mais comuns de falha em rolamentos são fadiga do material, lubrificação deficiente, contaminação, vedação ineficiente, montagem inadequada, ajuste impróprio e manuseio inadequado.

O rolamento, mesmo que utilizado corretamente, ao passar do tempo deixa de desempenhar sua função de forma satisfatória, devido entre outros casos ao aumento de ruído e vibração, à redução da precisão pelo desgaste, à deterioração da graxa lubrificante, superaquecimento, a trinca, o lascamento ou ao escamamento por fadiga na superfície de rolamento. A vida do rolamento no amplo sentido do termo são estes períodos até a impossibilidade do uso, denominados respectivamente vida de ruído, vida de desgaste, vida de graxa ou vida de fadiga.

Figura 30: Rolamento de Esfera de uma carreira



Fonte: Autores, 2019.

Através de análise do histórico de falhas, observou-se que há grande recorrência de falhas/troca de rolamentos por conta de quebra. Alguns levantamentos foram feitos pela equipe de projetos e insights para mitigar diretamente esse gargalo foram propostas.

Foram levantadas informações de que a qualidade do arame influencia fortemente na vida útil dos componentes, inclusive os rolamentos. Uma vez que na fabricação do mesmo, a empresa fornecedora adiciona um componente em toda camada superficial para que haja uma melhor fluidez no processo de trefilação. Esse componente, juntamente com óleo lubrificante e umidade presente na linha pneumática formam um tipo de cola que agride os rolamentos

que por sua vez não apresentam nenhum tipo de vedação ou mais comumente chamada de blindagem.

Na figura abaixo é possível ver a ausência de qualquer blindagem nos rolamentos o que facilita o acúmulo de resíduos advindos dos processos de fabricação.

Figura 31: Caixa Mecânica - Flexcoil



Fonte: Autores, 2019.

Figura 32: Comparação das Características de Vedação e Blindagem

Características	Blindagem (Z, ZE)	Vedação de borracha sem contato (NK, NKE)	Vedação de borracha com contato (NSL, NSE)
Torque de atrito	Baixo	Baixo	Maior que NK, NKE, Z e ZE
Alta velocidade	Excelente	Excelente	Boa
Retenção de graxa	Boa	Melhor que Z, ZE	Excelente
Proteção contra Impurezas	Boa	Melhor que Z, ZE	Excelente
Proteção contra Umidade	Inadequada	Inadequada	Excelente
Faixa de temperatura recomendada para rolamentos com graxa comum	-25~120°C	-25~120°C	-25~120°C

Fonte: Rolamentos Nachi

O principal parâmetro adotado na escolha do tipo de blindagem foi a rotação por ser o fator mais crítico que por sua vez leva a outros problemas como ruído, alta temperatura e vibração. Baseado nas medidas usuais da fábrica, foi possível escolher o rolamento adequado e que atende as especificações dos operadores. O modelo do rolamento é **6207ZZE** da marca Nachi, possuindo dupla blindagem com **72** mm de diâmetro externo, **35** mm de diâmetro interno e **17** mm de espessura.

Critérios como vida útil do material, capacidade de carga, atrito com o arame, velocidade de rotação dos rolamentos e lubrificação foram alguns dos parâmetros estudados para propor melhoramentos.

Tratamentos térmicos para aumentar a dureza do material e diminuir a recorrência de quebra foi uma das alternativas discutidas pela equipe. A

Têmpera Profunda é o método mais utilizado e padrão em rolamentos. Confere boa resistência à fadiga e ao desgaste pois a têmpera é aplicada ao longo da seção transversal.

O rolamento mais adequado para a aplicação desejada será o rolamento fixo de uma carreira de esferas da marca *Nachi* por apresentar alta versatilidade, aplicação em altas velocidades de rotações, suportam cargas tanto axiais em ambos os sentidos como também radiais. O torque de atrito é pequeno, sendo o mais adequado para aplicações que requerem baixo ruído e baixas vibrações

Figura 33: Rolamento Fixo com blindagem dupla



Fonte: NSK Rolamentos

Figura 34: Gaiolas Padronizadas para Rolamentos Fixos de Esferas

Séries	Aço Prensado	Latão Usinado
68	6800 – 6838	6840 – 68/800
69	6900 – 6936	6938 – 69/800
160	16001 – 16026	16028 – 16064
60	6000 – 6040	6044 – 60/670
62	6200 – 6240	6244 – 6272
63	6300 – 6332	6334 – 6356

Fonte: NSK Rolamentos

As gaiolas prensadas são as normalmente empregadas nos rolamentos fixos de esferas, mas nas dimensões maiores dos rolamentos as gaiolas são de latão usinados, conforme figura abaixo. Ainda, para solicitações de alta rotação, são usadas as gaiolas de latão usinado.

Figura 35: Características dos Protetores nos Rolamentos de Esferas

Tipo	Tipo Blindado (Tipo ZZ)	Tipo vedado sem Contato (Tipo VV)	Tipo Vedado com Contato (Tipo DDU)
Torque	Pequeno	Pequeno	Grande em relação ao do ZZ e VV devido ao contato
Capacidade Rotativa	Boa	Boa	Limitada devido ao contato da vedação
Capacidade de Retenção de Graxa	Boa	Melhor que a do ZZ	Algo melhor que a do VV
Capacidade Protetiva Contra Sujeria	Boa	Melhor que a do ZZ (aplicável em condições algo poeirentas)	Muito boa (aplicável em condições de ambiente muito poeirentas)
Capacidade Protetiva Contra Água	Inadequada	Inadequada	Boa (aplicável até em condições de incidência de respingo)
Temperatura de Operação ⁽¹⁾	-10 a +110°C	-10 a +110°C	-10 a +100°C

Nota ⁽¹⁾ Os valores da tabela acima são para rolamentos normais; a faixa de temperatura pode ser ampliada através da alteração do elastômero da vedação e com o uso de graxas para altas e baixas temperaturas; em caso da necessidade destes, consulte a NSK.

Fonte: NSK Rolamentos

Nos rolamentos fixos de esferas, caso a carga durante a operação se torne leve demais, ocorre deslizamento entre as pistas e as esferas, que pode causar a arranhadura. Nos grandes rolamentos fixos de esferas a ocorrência é mais frequente, onde as massas das esferas e das gaiolas são grandes.

Com base na rotação do eixo de 1800 rpm e baseado no catálogo da NSK, a equipe estruturou os cálculos de vida nominal para rolamentos de esferas que se dá de acordo com a figura 36.

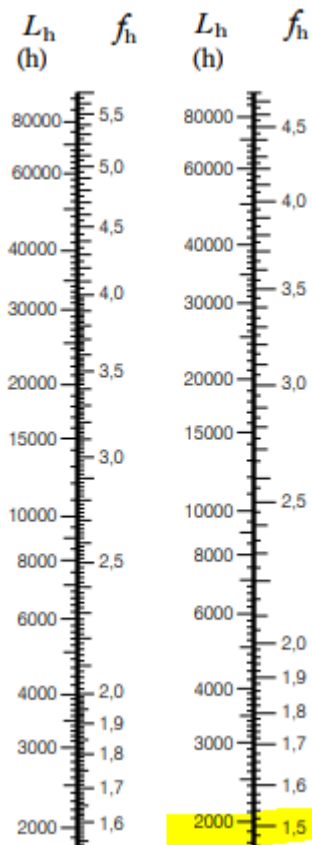
Figura 36: Cálculo de vida nominal para rolamentos de esfera

Classificação	Rolamento de esferas
Vida Nominal	$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 500f_h^3$

Fonte: NSK Rolamentos

Onde o fator $f_h=1,5$ é adotado baseado na tabela abaixo e pela faixa de rotação:

Figura 37: Velocidade de Rotação e Coeficiente de Velocidade



Fonte: NSK Rolamentos

$$L_h = 500 * f_h^3$$

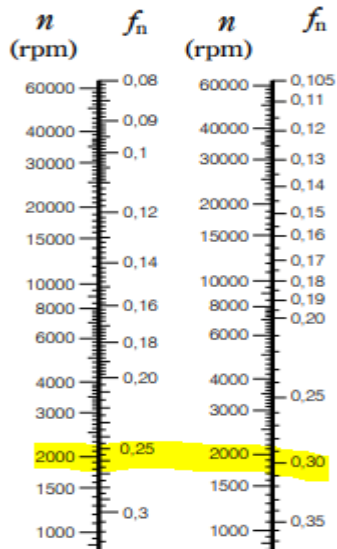
Tem-se que a vida nominal dos rolamentos é de **1687,5 DIAS**

Encontrado o valor da vida nominal, próximo passo é encontrar a

capacidade de carga básica que se dá pela seguinte fórmula: $C = \frac{f_h \cdot P}{f_n}$ onde:

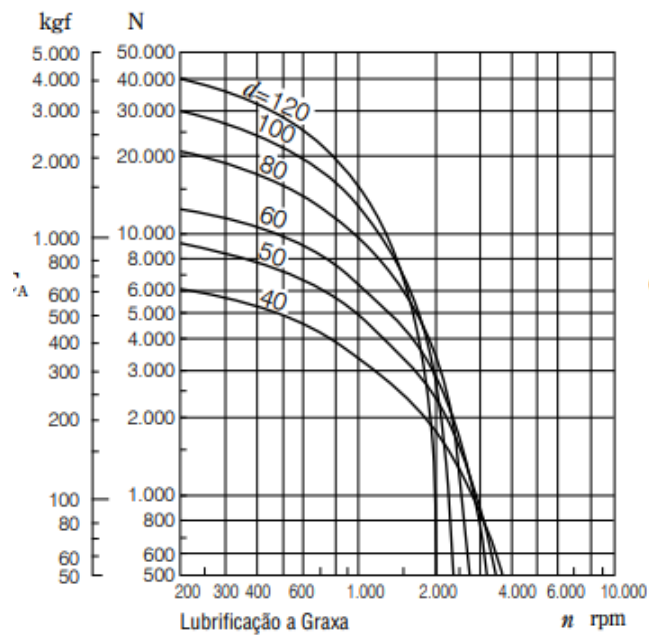
f_h = Vida de Projeto

Figura 38: Vida nominal e Coeficiente de Vida



Fonte: NSK Rolamentos

Figura 39: Carga P no rolamento baseado nas rotações - Lubrificação a Graxa



Fonte: NSK Rolamentos

P=Carga de Rolamento considerada;

f_n =Coeficiente de Velocidade

C= Capacidade de carga Básica

$$C = (1,5 * 1850) / 0,25$$

C=11.100 N (Capacidade de Carga Básica)

Baseado na tabela acima, o diâmetro do furo é de 40mm, baseando-se na faixa de rotação do motor e tendo como lubrificante principal a graxa.

TRATAMENTO TÉRMICO

5.1. Navalha

Amplamente utilizada no meio industrial devido à sua praticidade e segurança, as navalhas industriais são inseridas em máquinas com a intenção de aumentar a produtividade da empresa quando o assunto é corte (chapas, embalagens...). Geralmente são fabricadas em aço ferramenta com altos valores de tenacidade e com passagem por tratamento térmico a fim de garantir a durabilidade e o corte.

Figura 40: Navalha Industrial.



Fonte: Novo Corte.

No sistema trabalhado, a navalha é utilizada para o corte do arame no momento em que a mola é formada. Através da análise das falhas desse sistema foi possível perceber que há um grande desgaste na fiação devido ao não tratamento aplicado ao mesmo. A nova navalha especificada pela equipe, deve ser fabricada com aço-ferramenta de Classe A, que deve passar pelos tratamentos térmicos de têmpera

seguido de um revenimento, com finalidade de melhorar sua vida útil de operação.

5.2. Discos de tração

Os discos de tração no sistema são os componentes que atuam basicamente, com ajuda do conjunto de cames e da navalha, faz o controle do corte e alimentação do arame.

Figura 41: Discos de tração.



Fonte: Autores, 2019.

O sistema em questão sofre bastante de desgastes superficiais devido ao atrito constante com o arame, acarretando na substituição dos itens de maneira acentuada. O material especificado é o Aço SAE 8620, pois apresenta boa resistência superficial quando cementado.

5.3. Tratamento a ser aplicado

Para ambos sistemas apresentados anteriormente, existem algumas características das falhas que poderiam ser amenizadas através de tratamentos

térmicos. Esses equipamentos aparentam ter baixa dureza e baixa resistência de desgaste (como no caso dos discos de tração).

Para o aumento da dureza, um dos tratamentos mais indicados é a têmpera onde também tem um aumento do limite do escoamento e de resistência. Este processo se mostra o indicado para aplicação no aço-ferramenta de Classe A navalha e nos discos, para conseguir essas características o material deve obter martensita através do processo de rápido aquecimento, para faixas de temperatura entre 550 C° e 650 C° (obtendo a austenita) e logo após um rápido resfriamento (obtendo a martensita). Geralmente, após o procedimento de têmpera o componente passa pelo processo de revenimento para finalizar o seu tratamento.

Além da têmpera, um outro tratamento que pode ser empregado é a cementação. Esse procedimento tem como objetivo o aumento da resistência de desgaste, que por sua vez aumentaria a vida útil dos discos de tração que são compostos pelo Aço SAE 8620. Nesse processo ocorre o endurecimento superficial através do enriquecimento de carbono na superfície, através da cementação comum na faixa de 900 C° até 930 C°.

6. ACOPLAMENTO

Os acoplamentos são elementos mecânicos que permitem a transmissão de torque e ligação para outros equipamentos mecânicos. Ou seja, qualquer aplicação onde houver rotativos ou sistema de transmissão pode ter presença de acoplamentos mecânicos.

Atualmente na máquina em estudo, não existe acoplamentos, o que acaba tornando a ligação do eixo do motor com o sistema transmissor de movimentos vulnerável ao desalinhamento. Este por sua vez pode vir a causar uma série de problemas mecânicos, como o desgaste acelerado da ligação e vibrações indesejadas no sistema.

Foi definido através de catálogo da que o melhor acoplamento considerando material, rotação, tipo de operação e manutenibilidade é o acoplamento do tipo flexível.

A composição do acoplamento mesmo é feita por dois flanges (discos onde são fixados os eixos), um cubo (espaço onde o eixo é encaixado) e por elementos (parafusos, pinos) que fazem a ligação desses dois flanges.

Os principais benefícios dos acoplamentos são:

- Reduzir vibrações;
- Unir dois eixos;
- Transmitir torque e movimento;
- Relação de transmissão;
- Compensar desalinhamento;
- Absorver choques.

Figura 42: Acoplamento Industrial.



Fonte: ACIOBRAS.

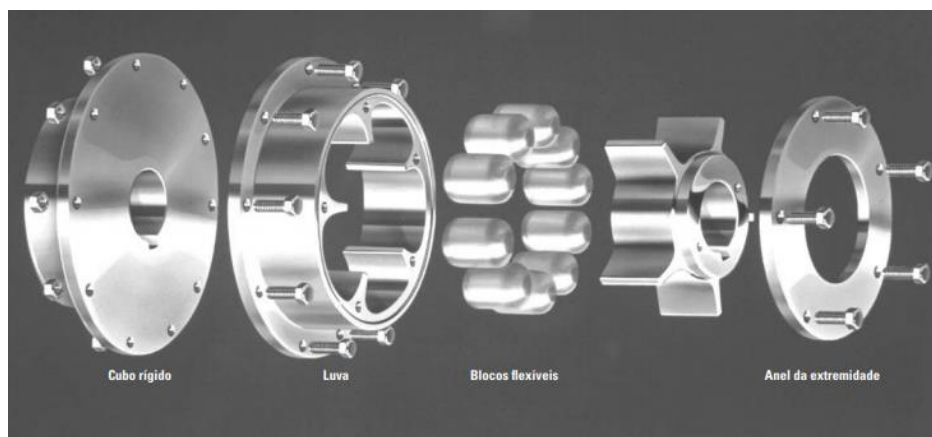
Dentre os principais tipos de acoplamento, podemos destacar 4 categorias que são as predominantes no mercado: **Elástico, flexível, de lâminas** e de **engrenagens**.

A equipe optou por utilizar o acoplamento flexível, que em geral são o tipo mais utilizado nas indústrias e tem como característica principal a acomodação dos desalinhamentos, que são a causa de mais de 50% dos colapsos de rolamento.

Dentro das principais vantagens do acoplamento flexível, podemos destacar: A facilidade e rapidez para a manutenção, não necessita de lubrificação e os modelos mais modernos de acoplamento flexível são mais eficientes na redução de ruídos.

Após a analisar as opções de mercado, a equipe optou por utilizar o acoplamento flexível da **KOP-FLEX**, o **MAX C**.

Figura 43: Acoplamento Flexível.



Fonte: Catálogo KOP-FLEX.

Figura 44: Vantagens do acoplamento MAX.

VANTAGENS DO ACOPLAMENTO MAX-C®:

- Transmite um torque muito alto e amortece choques do sistema
- Nunca necessita de lubrificação
- Fácil de montar e instalar
- Opera em condições de umidade, calor, poeira e outras dificuldades
- Pode ampliar a vida útil do trem de acionamento e dos componentes da engrenagem
- Poucos requisitos de manutenção

Fonte: Catálogo KOP-FLEX

O tipo de acoplamento **MAX-C** é selecionado com base na aplicação e nos requisitos específicos (rigidez, amortecimento, etc).

Figura 45: Tipo de acoplamento.

Máquina motriz		Tipo de acoplamento MAX-C®		
		Tipo K2/UB	Tipo CB	Tipo WB
Motores elétricos	Acionamentos de guias	●		●
	Propulsor de proa	●	●	●
	Bombas	●		
	Engrenagens de redução	●		●
	Rolos de alimentação	●		●
	Ventiladores	●		●
	Sistemas transportadores	●		
	Manipuladores	●		●
Motores síncronos e de frequência variável	Compressores centrífugos		●	●
	Incrementadores de velocidade			●
	Pinhões de moinhos			●
	Acionamentos de fornos			●
	Trituradores			●
	Ventiladores ID e FD			
Motores a diesel	Conjuntos de geradores		●	
	Bombas de incêndio		●	
	Conversores de torque		●	
	Engrenagens marítimas		●	●
	Dinamômetros		●	
	Plataformas de perfuração petrolífera		●	●
	Propulsão principal		●	●
	Propulsor de proa ou popa			

Fonte: Catálogo KOP-FLEX.

Foi selecionado o modelo **UB**, por apresentar uma faixa operacional que abrange a velocidade de rotação do eixo (1800 rpm) juntamente com uma resistência a torque (pico e contínuo) superior as solicitações esperadas pelo eixo. Além disso, os modelos **UB** são ideais para situações onde não se deseja utilizar lubrificantes e que não se necessita de manutenção.

Figura 46: Especificações do acoplamento.

TAMANHO DO ACOPLAMENTO	CLASSIFICAÇÃO DO ACOPLAMENTO (lb-pol.)		VELOCIDADE MÁX. (RPM)		ORIFÍCIO MÁX. (pol.)		DIMENSÕES (POLEGADAS)									
	CONTÍNUO	PICO	BALANCEADO	NÃO BALANCEADO	RÍGIDO (1)	CUBO FLEXÍVEL	A	B	C	E	E _s	F(1)	G	K (2)	O	U
1.5	4400	8800	6900	4600	2.62	1.75	6.62	4.41	0.09	2.16	2.16	4.75	5.00	2.75	2.62	2.25
2.0	7600	15200	5900	3930	3.12	2.12	7.75	4.91	0.09	2.41	2.41	5.75	6.12	3.00	3.22	2.50
2.5	13900	27800	4800	3200	3.88	2.62	9.50	5.38	0.12	2.62	2.62	6.75	7.88	3.25	3.97	2.75
3.0	25200	50400	4100	2730	4.75	3.19	11.12	6.62	0.12	3.25	3.25	7.75	9.50	4.25	4.88	3.38
3.5	44100	88200	3600	2400	5.75	3.81	13.25	7.88	0.12	3.88	3.88	10.12	11.25	4.75	5.88	4.00
4.0	75600	151200	3000	2000	5.00	4.62	15.75	9.25	0.12	4.56	4.56	8.00	13.62	5.75	7.19	4.69
5.0	135500	271000	2400	1600	6.25	5.62	19.12	11.31	0.12	5.62	5.56	10.00	16.50	7.25	8.78	5.75
6.0	252100	504200	1950	1300	7.50	6.88	23.50	13.12	0.19	6.81	6.12	12.00	20.25	8.75	10.62	7.00
7.0	378000	756000	1760	1170	8.75	7.81	26.12	15.94	0.19	7.88	7.88	14.00	22.88	10.25	12.12	8.06

OBSERVAÇÃO 1 - UM DIÂMETRO INTERNO RÍGIDO MAIOR ESTÁ DISPONÍVEL PELO AUMENTO DA DIMENSÃO F - CONSULTE A KOP-FLEX
OBSERVAÇÃO 2 - ESPAÇO NECESSÁRIO PARA A REMOÇÃO DO BLOCO.

Fonte: Catálogo KOP-FLEX.

Com base nas solicitações especificadas, o tamanho do acoplamento que satisfaz as necessidades do projeto é o 1.5, atendendo dessa forma as condições de operação da máquina.

Figura 47: Acoplamento Flexível.

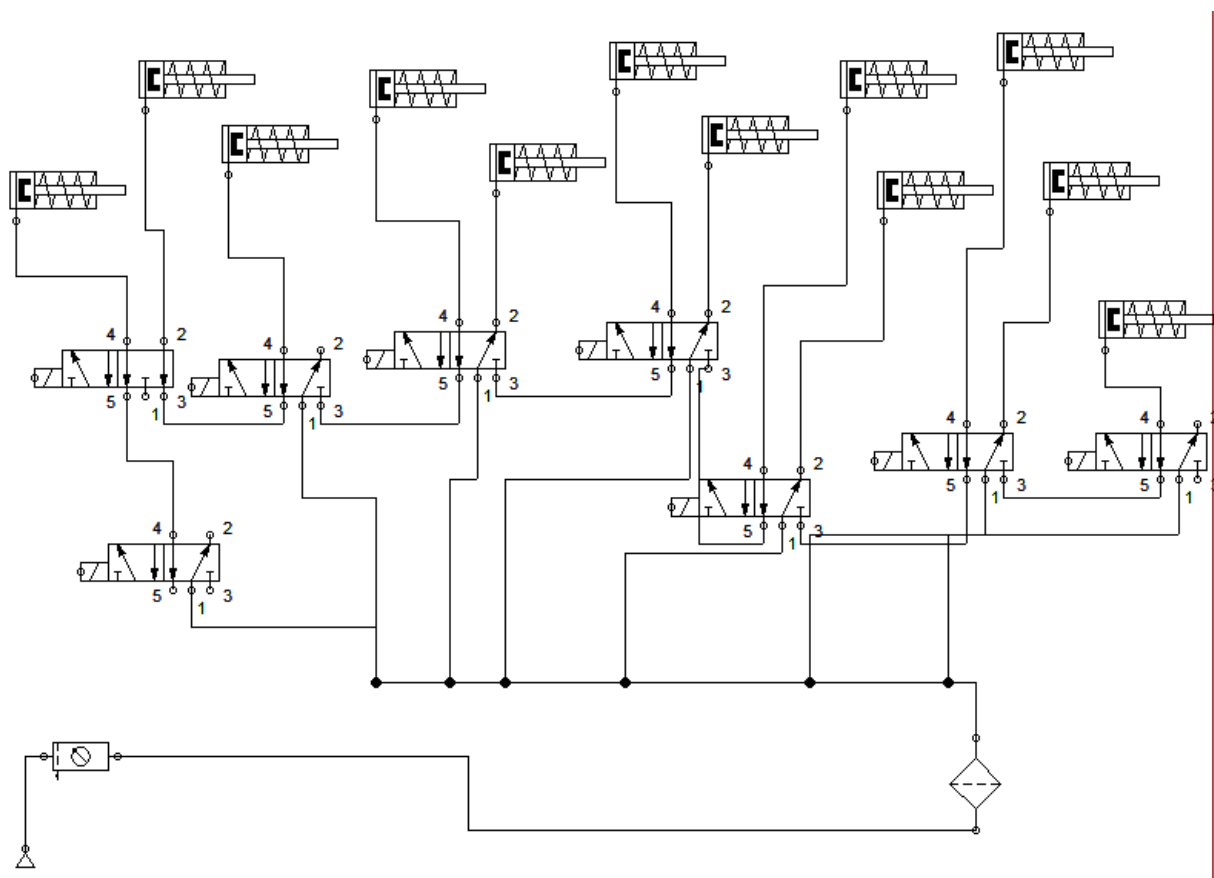


Fonte: Catálogo KOP-FLEX.

8. SISTEMA PNEUMÁTICO

O sistema pneumático da máquina é de fundamental importância para seu funcionamento pleno. Primeiramente foi feito o estudo do trajeto de cada pistão (12 ao total que realizam todas as funções da máquina - desde a projeção da mola para a câmara onde é realizado o tratamento térmico, movimentação pela esteira transportadora até o ensacamento da mesma) e a partir de cada estágio, pode-se dar início ao diagrama Trajeto-Passe.

Figura 48: Diagrama Pneumático.



Fonte: Autores, 2019.

Figura 49: Câmara onde é realizado o tratamento térmico da mola no início do trajeto.



Fonte: Autores, 2019.

Uma das melhorias tangíveis tecnicamente e financeiramente, é o tratamento do ar utilizado pelo sistema pneumático.

Figura 50: Transporte da mola até o ensacamento.



Fonte: Autores, 2019.

Figura 51: Final de operação - Mola no seu estágio final, ensacada e pronta para ser montada.



Fonte: Autores, 2019.

Remover impurezas e umidade do fluido, melhora a eficiência do processo além de diminuir a necessidade de manutenção dos componentes.

Figura 52: Sala de geração de ar comprimido – Compressores.



Fonte: Autores, 2019.

Em uma das visitas, foi constatado pelo chefe de manutenção que há diversos problemas enfrentados quando se trata da linha pneumática, elas são: perda de pressão desde a geração até a distribuição devido a pontos onde há escape de ar, acúmulo de água no sistema consequentemente ar úmido, presença de partículas sólidas e presença de óleo lubrificante no sistema.

Figura 53: Secador de Ar Domnick Hunter - sala de geração de ar comprimido.



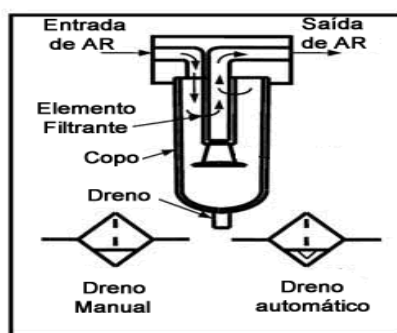
Fonte: Autores, 2019.

Todas essas problemáticas citadas trazem como consequências constantes quebras/reparos dos pistões dos cilindros.

Figura 54: Reservatório de ar Vertical.

Fonte: Autores, 2019.

Nos equipamentos como cilindros e pistões há desgaste excessivo do anel de vedação e desgaste da camisa que envolve o pistão. Desgaste esse causado pela não uniformidade da temperatura do ar de entrada assim como as partículas sólidas que não são retidas pelo filtro.

Figura 55: Sistema de filtro.

Fonte: CitySistem, 2019.

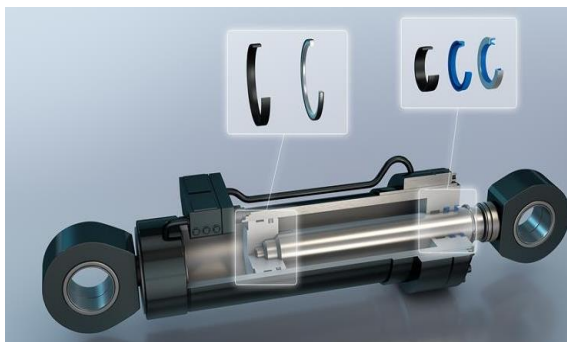
Houveram algumas tentativas de alteração em alguns em alguns dos acessórios para mitigar esses inconvenientes, como por exemplo: Adicionar proteção sanfonada para cilindros/ hastes como alternativa para eliminar o acúmulo de poeira proveniente do chão de fábrica. Raspadores e limpadores metálicos instalados nas configurações das vedações dos cilindros, porém nenhuma das alternativas citadas houve êxito.

Figura 56: Raspadores metálicos usados como forma de prevenir partículas sólidas nos atuadores.



Fonte: Parkits Vedações.

Figura 57: Raspadores metálicos usados como forma de prevenir partículas sólidas nos atuadores.



Fonte: Parkits Vedações.

Atualmente a fábrica conta com o sistema abaixo para executar a filtragem do ar antes de sua distribuição para os sistemas pneumáticos de cada uma das máquinas individualmente.

Figura 58: Proteção sanfonada para Cilindros.



Fonte: Proteflex.

O mesmo mostra-se ineficiente, visto que há diversas reclamações por parte dos técnicos que utilizam os equipamentos.

Figura 59: Sistema de filtragem de ar – Flexcoil.



Fonte: Autores, 2019.

Foram analisadas diferentes unidades combinadas FRLs (Filtro, Regulador e Lubrificante) disponíveis do mercado.

A escolha final, foi balizada através de 5 critérios: O ambiente cujo a máquina se encontra em operação, a faixa de pressão que a máquina opera, os requisitos de lubrificação do sistema, a necessidade de troca do filtro do sistema e a faixa do fluxo de ar.

Figura 60: Tabela de referência do fluxo de ar.

Maximum recommended air flow (scfm) thru ANSI standard weight Schedule 40 pipe

Applied Pressure PSIG	Nominal Standard Pipe Size — Inches										
	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"
5	0.5	1.2	2.7	4.9	6.6	13	27	40	80	135	240
10	0.8	1.7	3.9	7.7	11.0	21	44	64	125	200	370
20	1.3	3.0	6.6	13.0	18.5	35	75	110	215	350	600
40	2.5	5.5	12.0	23.0	34.0	62	135	200	385	640	1100
60	3.5	8.0	18.0	34.0	50.0	93	195	290	560	900	1600
80	4.7	10.5	23.0	44.0	65.0	120	255	380	720	1200	2100
100	5.8	13.0	29.0	54.0	80.0	150	315	470	900	1450	2600
150	8.6	20.0	41.0	80.0	115	220	460	680	1350	2200	3900
200	11.5	26.0	58.0	108.0	155.0	290	620	910	1750	2800	5000
250	14.5	33.0	73.0	135.0	200	370	770	1150	2200	3500	6100

Fonte: Autores, 2019.

Após uma pesquisa de mercado, a equipe escolheu selecionar o ARO-flo série 1000 por sua larga abrangência de aplicação e desempenho relativa aos similares do

mercado. Permitindo ainda assim, um uso mais eficiente e eficaz do maquinário, uma vez que, a ausência total de partículas sólidas e líquidas no sistema pneumático permite a sua operação em máximo desempenho.

Figura 61: Ficha técnica do filtro.

1000 Series filters

1/8" and 1/4" Ports

Technical data		
Polycarbonate bowl	Polycarbonate	
Polycarbonate bowl guard	Nylon	
Metal bowl	Aluminum	
Filter body	Aluminum	
Manual drain	Brass + nitrile	
Auto drain	Acetal	
Standard filter	Polyethylene	
Coalescing filter	HEPA paper + felt	
Seals	Nitrile	
Filter baffle	Acetal	
	POLYCARBONATE BOWL	METAL BOWL
Max inlet pressure (psi)	150	250
Temperature range (F)	23 – 125	23 – 175
Bowl cap — manual drain (oz)	0.5	0.4
Bowl cap — auto drain (oz)	0.7	0.7
Bowl cap — coal manual drain	0.3	
Bowl cap — coal auto drain	0.5	
*Flow capacity — 1/8" port	38 scfm	
*Flow capacity — 1/4" port	49 scfm	

**Inlet pressure 90 psi (6.2 bar) with 10 psi drop (0.7 bar)*



Fonte: Catálogo ARO FLO 2019.

No quesito segurança e performance do equipamento, a equipe optou por usar um da fabricante ARO, pelo fato do mesmo se apresentar como uma empresa consolidada no mercado, se destacando nos quesitos segurança e eficiência.

Figura 62: Modelo Série 100 Filtro.

SÉRIE 1000



Fonte: Catálogo ARO FLO, 2019.

Utilizando o catálogo da fabricante, encontramos o modelo ideal de FRL utilizando como inputs a pressão de entrada (90 psi), fluxo de ar do sistema e o diâmetro da entrada do sistema.

Figura 63: Ficha técnica.

Dados técnicos		
	BACIA DE POLICARBONATO	BACIA DE METAL
Pressão máxima de entrada (psi)	150	250
Faixa de temperatura (F)	23 – 125	23 – 175
Opções de série de molas (psi)	0 – 140	
Elemento de filtro	5 microns	
Tampa da bacia do filtro — dreno manual (oz)	0,5	0,4
Tampa da bacia do filtro — dreno automático (oz)	0,7	0,7
Capacidade da bacia do lubrificante (oz)	0,6	0,7
Orifício do medidor	1/8 pol.	
Capacidade de fluxo — orifício de 1/8 pol. - 2 unidades*	36 scfm	
Capacidade de fluxo — orifício de 1/4 pol. - 2 unidades*	44 scfm	
Capacidade de fluxo — orifício de 1/8 pol. - 3 unidades*	34 scfm	
Capacidade de fluxo — orifício de 1/4 pol. - 3 unidades*	46 scfm	

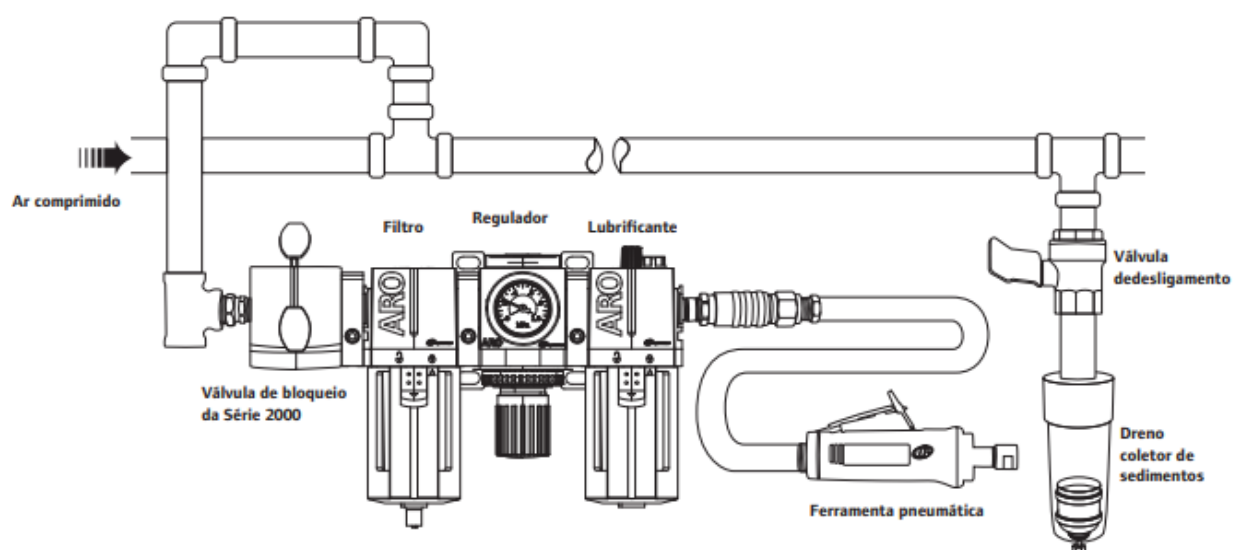
*Pressão de entrada de 100 psi (6,9 bar), pressão de ajuste de 90 psi (6,2 bar), com queda de 33 psi (2,3 bar)

Fonte: Conversor de filtros.

9. INSTALAÇÃO DO FLR

O filtro, o regulador e o lubrificante devem ser instalados na ordem mostrada na ilustração abaixo. Se for necessário um filtro coalescente, ele terá de ser instalado no lado de saída de um filtro padrão. As linhas individuais de condução ao FRL e à ferramenta ou equipamento de ar devem partir do início da linha de ar comprimido. Certificar-se de observar as marcações de fluxo de ar para garantir a direção correta do fluxo através das unidades FRL.

Figura 64: Esquemático de Instalação FRL série ARO 1000.



Fonte: Catálogo Ingersoll Rand.

Para reter e expelir água, lama e outros contaminantes que venham a acumular no fundo da linha de ar, é necessário usar um dreno coletor de sedimento. Os drenos coletores de sedimentos devem ser instalados em pontos baixos do sistema de tubulação e no extremo do sistema de distribuição.

10. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente projeto possibilitou análises no avanço de cada etapa. Na primeira informacional os estudos iniciais referentes ao projeto de conclusão de curso da equipe, este que tem como tema: Retrofit de uma máquina produtora de molas. Como primeiro passo, a equipe utilizou como ferramenta a Matriz QFD para ordenar por prioridade e grau de dificuldade cada uma das características do projeto, identificando as reais necessidades de todos os stakeholders envolvidos no projeto. Ao aplicar a ferramenta da qualidade, verificou-se que será necessário ter mais atenção nos seguintes pontos no desenvolvimento do projeto: aumento da produtividade, prazo e custo de implementação. Quanto às principais normas técnicas que circundam o projeto, NR-10 (Máquinas Elétricas) e NR 12 (Segurança do Trabalho), foram levantados pontos específicos dessas duas normas para balizar o restante do desenvolver do projeto. A análise funcional foi realizada para equipe igualar todo o conhecimento as funções que são realizadas pela máquina e servir como base na construção da próxima etapa do projeto conceitual, a análise morfológica.

Na segunda etapa conceitual, foi realizada a análise da validação de conceitos sendo possível concluir que apesar de existirem, para cada função, diversas opções mencionadas na matriz morfológica, os componentes já utilizados permanecem sendo, de uma forma geral, as melhores opções tangíveis para as suas respectivas funções. Assim, depois de toda metodologia usada para extrair dos *stakeholders* da máquina, a equipe resolveu utilizar como objeto de estudo a parte pneumática e a caixa de engrenagem da máquina, entendendo seus mecanismos individualmente e suas propriedades mecânicas, buscando espaço para melhorias em seu custo, manutenibilidade e funcionalidade.

Nas últimas etapas os projetos básico e detalhado, a equipe fez um estudo minucioso de cada componente e definindo novos fabricantes, tratamentos térmicos, cálculos de dimensionamento como exemplo do came e uma demonstração CAD da caixa mecânica. Tais medidas a equipe conclui que será assertivo para empresa por possibilitar nacionalização dos fornecedores, facilitando a comunicação e toda logística envolvida. Redução dos tempos de paradas e manutenção, atualmente as peças em estudo quebram a cada 3 meses em média, a equipe acredita que tais ações

possibilitarão manutenções anuais tendo um ganho de produção/mola anual. Sendo a atual perda uma média de 28.880 molas/ano, a redução seria para 7.200 molas/ano uma redução de 75%.

ANEXOS

CAME SEGUIDOR						
Ângulo Came	S [m]	V [m/s]	A [m/s ²]	J [m/s ³]	Força [N]	Torque [N.m]
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0,105	0,177	0	0
2	0	0	0,402	0,329	0,1	0
3	0	0,001	0,863	0,46	0,1	0
4	0	0,002	1,463	0,569	0,2	0
5	0	0,004	2,179	0,658	0,3	0
6	0	0,007	2,988	0,729	0,4	0
7	0	0,011	3,869	0,782	0,6	0
8	0	0,017	4,802	0,82	0,7	0
9	0	0,023	5,77	0,842	0,9	0
10	0	0,03	6,756	0,85	1	0
11	0	0,038	7,744	0,846	1,2	0
12	0	0,048	8,72	0,83	1,3	0
13	0	0,059	9,671	0,803	1,5	0,1
14	0	0,07	10,585	0,767	1,6	0,1

15	0	0,083	11,451	0,722	1,7	0,1
16	0,001	0,097	12,261	0,669	1,8	0,1
17	0,001	0,112	13,006	0,61	2	0,1
18	0,001	0,127	13,677	0,544	2,1	0,1
19	0,001	0,144	14,27	0,474	2,1	0,1
20	0,001	0,16	14,778	0,399	2,2	0,2
21	0,001	0,178	15,198	0,321	2,3	0,2
22	0,002	0,196	15,525	0,24	2,3	0,2
23	0,002	0,214	15,757	0,158	2,4	0,2
24	0,002	0,232	15,891	0,074	2,4	0,2
25	0,002	0,251	15,928	-0,011	2,4	0,3
26	0,003	0,269	15,867	-0,095	2,4	0,3
27	0,003	0,288	15,708	-0,179	2,4	0,3
28	0,003	0,306	15,452	-0,261	2,3	0,3
29	0,004	0,324	15,101	-0,342	2,3	0,3
30	0,004	0,341	14,658	-0,42	2,2	0,3
31	0,004	0,358	14,125	-0,495	2,1	0,4
32	0,005	0,374	13,506	-0,568	2	0,4

33	0,005	0,389	12,805	-0,636	1,9	0,4
34	0,006	0,404	12,027	-0,701	1,8	0,4
35	0,006	0,417	11,176	-0,761	1,7	0,4
36	0,007	0,43	10,258	-0,816	1,5	0,4
37	0,007	0,441	9,278	-0,867	1,4	0,4
38	0,008	0,451	8,243	-0,912	1,2	0,5
39	0,008	0,46	7,159	-0,951	1,1	0,5
40	0,009	0,468	6,032	-0,985	0,9	0,5
41	0,009	0,474	4,869	-1,013	0,7	0,5
42	0,01	0,479	3,677	-1,035	0,6	0,5
43	0,01	0,483	2,464	-1,05	0,4	0,5
44	0,011	0,485	1,236	-1,06	0,2	0,5
45	0,012	0,486	0	-1,063	0	0,5
46	0,012	0,485	-1,236	-1,06	-0,2	0,5
47	0,013	0,483	-2,464	-1,05	-0,4	0,5
48	0,013	0,479	-3,677	-1,035	-0,6	0,5
49	0,014	0,474	-4,869	-1,013	-0,7	0,5
50	0,014	0,468	-6,032	-0,985	-0,9	0,5

51	0,015	0,46	-7,159	-0,951	-1,1	0,5
52	0,015	0,451	-8,243	-0,912	-1,2	0,5
53	0,016	0,441	-9,278	-0,867	-1,4	0,4
54	0,017	0,43	-10,258	-0,816	-1,5	0,4
55	0,017	0,417	-11,176	-0,761	-1,7	0,4
56	0,017	0,404	-12,027	-0,701	-1,8	0,4
57	0,018	0,389	-12,805	-0,636	-1,9	0,4
58	0,018	0,374	-13,506	-0,568	-2	0,4
59	0,019	0,358	-14,125	-0,495	-2,1	0,4
60	0,019	0,341	-14,658	-0,42	-2,2	0,3
61	0,02	0,324	-15,101	-0,342	-2,3	0,3
62	0,02	0,306	-15,452	-0,261	-2,3	0,3
63	0,02	0,288	-15,708	-0,179	-2,4	0,3
64	0,021	0,269	-15,867	-0,095	-2,4	0,3
65	0,021	0,251	-15,928	-0,011	-2,4	0,3
66	0,021	0,232	-15,891	0,074	-2,4	0,2
67	0,021	0,214	-15,757	0,158	-2,4	0,2
68	0,022	0,196	-15,525	0,24	-2,3	0,2

69	0,022	0,178	-15,198	0,321	-2,3	0,2
70	0,022	0,16	-14,778	0,399	-2,2	0,2
71	0,022	0,144	-14,27	0,474	-2,1	0,1
72	0,022	0,127	-13,677	0,544	-2,1	0,1
73	0,023	0,112	-13,006	0,61	-2	0,1
74	0,023	0,097	-12,261	0,669	-1,8	0,1
75	0,023	0,083	-11,451	0,722	-1,7	0,1
76	0,023	0,07	-10,585	0,767	-1,6	0,1
77	0,023	0,059	-9,671	0,803	-1,5	0,1
78	0,023	0,048	-8,72	0,83	-1,3	0
79	0,023	0,038	-7,744	0,846	-1,2	0
80	0,023	0,03	-6,756	0,85	-1	0
81	0,023	0,023	-5,77	0,842	-0,9	0
82	0,023	0,017	-4,802	0,82	-0,7	0
83	0,023	0,011	-3,869	0,782	-0,6	0
84	0,023	0,007	-2,988	0,729	-0,4	0
85	0,023	0,004	-2,179	0,658	-0,3	0
86	0,023	0,002	-1,463	0,569	-0,2	0

87	0,023	0,001	-0,863	0,46	-0,1	0
88	0,023	0	-0,402	0,329	-0,1	0
89	0,023	0	-0,105	0,177	0	0
90	0,023	0	0	0	0	0
91	0,023	0	0	0	0	0
92	0,023	0	0	0	0	0
93	0,023	0	0	0	0	0
94	0,023	0	0	0	0	0
95	0,023	0	0	0	0	0
96	0,023	0	0	0	0	0
97	0,023	0	0	0	0	0
98	0,023	0	0	0	0	0
99	0,023	0	0	0	0	0
100	0,023	0	0	0	0	0
101	0,023	0	0	0	0	0
102	0,023	0	0	0	0	0
103	0,023	0	0	0	0	0
104	0,023	0	0	0	0	0

105	0,023	0	0	0	0	0
106	0,023	0	0	0	0	0
107	0,023	0	0	0	0	0
108	0,023	0	0	0	0	0
109	0,023	0	0	0	0	0
110	0,023	0	0	0	0	0
111	0,023	0	0	0	0	0
112	0,023	0	0	0	0	0
113	0,023	0	0	0	0	0
114	0,023	0	0	0	0	0
115	0,023	0	0	0	0	0
116	0,023	0	0	0	0	0
117	0,023	0	0	0	0	0
118	0,023	0	0	0	0	0
119	0,023	0	0	0	0	0
120	0,023	0	0	0	0	0
121	0,023	0	0	0	0	0
122	0,023	0	0	0	0	0

123	0,023	0	0	0	0	0
124	0,023	0	0	0	0	0
125	0,023	0	0	0	0	0
126	0,023	0	0	0	0	0
127	0,023	0	0	0	0	0
128	0,023	0	0	0	0	0
129	0,023	0	0	0	0	0
130	0,023	0	0	0	0	0
131	0,023	0	0	0	0	0
132	0,023	0	0	0	0	0
133	0,023	0	0	0	0	0
134	0,023	0	0	0	0	0
135	0,023	0	0	0	0	0
136	0,023	0	0	0	0	0
137	0,023	0	0	0	0	0
138	0,023	0	0	0	0	0
139	0,023	0	0	0	0	0
140	0,023	0	0	0	0	0

141	0,023	0	0	0	0	0
142	0,023	0	0	0	0	0
143	0,023	0	0	0	0	0
144	0,023	0	0	0	0	0
145	0,023	0	0	0	0	0
146	0,023	0	0	0	0	0
147	0,023	0	0	0	0	0
148	0,023	0	0	0	0	0
149	0,023	0	0	0	0	0
150	0,023	0	0	0	0	0
151	0,023	0	0	0	0	0
152	0,023	0	0	0	0	0
153	0,023	0	0	0	0	0
154	0,023	0	0	0	0	0
155	0,023	0	0	0	0	0
156	0,023	0	0	0	0	0
157	0,023	0	0	0	0	0
158	0,023	0	0	0	0	0

159	0,023	0	0	0	0	0
160	0,023	0	0	0	0	0
161	0,023	0	0	0	0	0
162	0,023	0	0	0	0	0
163	0,023	0	0	0	0	0
164	0,023	0	0	0	0	0
165	0,023	0	0	0	0	0
166	0,023	0	0	0	0	0
167	0,023	0	0	0	0	0
168	0,023	0	0	0	0	0
169	0,023	0	0	0	0	0
170	0,023	0	0	0	0	0
171	0,023	0	0	0	0	0
172	0,023	0	0	0	0	0
173	0,023	0	0	0	0	0
174	0,023	0	0	0	0	0
175	0,023	0	0	0	0	0
176	0,023	0	0	0	0	0

177	0,023	0	0	0	0	0
178	0,023	0	0	0	0	0
179	0,023	0	0	0	0	0
180	0,023	0	0	-1,215	0	0
181	0,023	-0,001	-1,367	-1,135	-0,2	0
182	0,023	-0,003	-2,641	-1,056	-0,4	0
183	0,023	-0,007	-3,826	-0,98	-0,6	0
184	0,023	-0,012	-4,922	-0,905	-0,7	0
185	0,023	-0,018	-5,933	-0,832	-0,9	0
186	0,023	-0,026	-6,86	-0,761	-1	0
187	0,023	-0,034	-7,705	-0,692	-1,2	0
188	0,023	-0,044	-8,471	-0,624	-1,3	0
189	0,023	-0,054	-9,159	-0,559	-1,4	-0,1
190	0,023	-0,065	-9,772	-0,495	-1,5	-0,1
191	0,023	-0,077	-10,311	-0,433	-1,5	-0,1
192	0,023	-0,089	-10,78	-0,373	-1,6	-0,1
193	0,023	-0,102	-11,179	-0,314	-1,7	-0,1
194	0,023	-0,115	-11,511	-0,257	-1,7	-0,1

195	0,022	-0,128	-11,779	-0,202	-1,8	-0,1
196	0,022	-0,142	-11,983	-0,149	-1,8	-0,1
197	0,022	-0,156	-12,127	-0,098	-1,8	-0,2
198	0,022	-0,171	-12,212	-0,049	-1,8	-0,2
199	0,022	-0,185	-12,241	-0,001	-1,8	-0,2
200	0,021	-0,199	-12,215	0,045	-1,8	-0,2
201	0,021	-0,213	-12,137	0,089	-1,8	-0,2
202	0,021	-0,227	-12,008	0,131	-1,8	-0,2
203	0,021	-0,241	-11,832	0,172	-1,8	-0,2
204	0,02	-0,255	-11,609	0,211	-1,7	-0,3
205	0,02	-0,268	-11,342	0,247	-1,7	-0,3
206	0,02	-0,281	-11,034	0,283	-1,7	-0,3
207	0,019	-0,294	-10,686	0,316	-1,6	-0,3
208	0,019	-0,306	-10,3	0,347	-1,5	-0,3
209	0,019	-0,318	-9,878	0,377	-1,5	-0,3
210	0,018	-0,329	-9,423	0,405	-1,4	-0,3
211	0,018	-0,34	-8,936	0,431	-1,3	-0,3
212	0,018	-0,35	-8,421	0,455	-1,3	-0,3

213	0,017	-0,359	-7,878	0,478	-1,2	-0,4
214	0,017	-0,368	-7,309	0,498	-1,1	-0,4
215	0,016	-0,376	-6,718	0,517	-1	-0,4
216	0,016	-0,384	-6,106	0,534	-0,9	-0,4
217	0,015	-0,39	-5,475	0,55	-0,8	-0,4
218	0,015	-0,396	-4,827	0,563	-0,7	-0,4
219	0,014	-0,402	-4,165	0,575	-0,6	-0,4
220	0,014	-0,406	-3,49	0,585	-0,5	-0,4
221	0,014	-0,41	-2,805	0,593	-0,4	-0,4
222	0,013	-0,413	-2,111	0,599	-0,3	-0,4
223	0,013	-0,415	-1,411	0,604	-0,2	-0,4
224	0,012	-0,416	-0,706	0,606	-0,1	-0,4
225	0,012	-0,416	0	0,607	0	-0,4
226	0,011	-0,416	0,706	0,606	0,1	-0,4
227	0,011	-0,415	1,411	0,604	0,2	-0,4
228	0,01	-0,413	2,111	0,599	0,3	-0,4
229	0,01	-0,41	2,805	0,593	0,4	-0,4
230	0,009	-0,406	3,49	0,585	0,5	-0,4

231	0,009	-0,402	4,165	0,575	0,6	-0,4
232	0,008	-0,396	4,827	0,563	0,7	-0,4
233	0,008	-0,39	5,475	0,55	0,8	-0,4
234	0,007	-0,384	6,106	0,534	0,9	-0,4
235	0,007	-0,376	6,718	0,517	1	-0,4
236	0,007	-0,368	7,309	0,498	1,1	-0,4
237	0,006	-0,359	7,878	0,478	1,2	-0,4
238	0,006	-0,35	8,421	0,455	1,3	-0,3
239	0,005	-0,34	8,936	0,431	1,3	-0,3
240	0,005	-0,329	9,423	0,405	1,4	-0,3
241	0,005	-0,318	9,878	0,377	1,5	-0,3
242	0,004	-0,306	10,3	0,347	1,5	-0,3
243	0,004	-0,294	10,686	0,316	1,6	-0,3
244	0,003	-0,281	11,034	0,283	1,7	-0,3
245	0,003	-0,268	11,342	0,247	1,7	-0,3
246	0,003	-0,255	11,609	0,211	1,7	-0,3
247	0,003	-0,241	11,832	0,172	1,8	-0,2
248	0,002	-0,227	12,008	0,131	1,8	-0,2

249	0,002	-0,213	12,137	0,089	1,8	-0,2
250	0,002	-0,199	12,215	0,045	1,8	-0,2
251	0,002	-0,185	12,241	-0,001	1,8	-0,2
252	0,001	-0,171	12,212	-0,049	1,8	-0,2
253	0,001	-0,156	12,127	-0,098	1,8	-0,2
254	0,001	-0,142	11,983	-0,149	1,8	-0,1
255	0,001	-0,128	11,779	-0,202	1,8	-0,1
256	0,001	-0,115	11,511	-0,257	1,7	-0,1
257	0,001	-0,102	11,179	-0,314	1,7	-0,1
258	0	-0,089	10,78	-0,373	1,6	-0,1
259	0	-0,077	10,311	-0,433	1,5	-0,1
260	0	-0,065	9,772	-0,495	1,5	-0,1
261	0	-0,054	9,159	-0,559	1,4	-0,1
262	0	-0,044	8,471	-0,624	1,3	0
263	0	-0,034	7,705	-0,692	1,2	0
264	0	-0,026	6,86	-0,761	1	0
265	0	-0,018	5,933	-0,832	0,9	0
266	0	-0,012	4,922	-0,905	0,7	0

267	0	-0,007	3,826	-0,98	0,6	0
268	0	-0,003	2,641	-1,056	0,4	0
269	0	-0,001	1,367	-1,135	0,2	0
270	0	0	0	0	0	0
271	0	0	0	0	0	0
272	0	0	0	0	0	0
273	0	0	0	0	0	0
274	0	0	0	0	0	0
275	0	0	0	0	0	0
276	0	0	0	0	0	0
277	0	0	0	0	0	0
278	0	0	0	0	0	0
279	0	0	0	0	0	0
280	0	0	0	0	0	0
281	0	0	0	0	0	0
282	0	0	0	0	0	0
283	0	0	0	0	0	0
284	0	0	0	0	0	0

285	0	0	0	0	0	0
286	0	0	0	0	0	0
287	0	0	0	0	0	0
288	0	0	0	0	0	0
289	0	0	0	0	0	0
290	0	0	0	0	0	0
291	0	0	0	0	0	0
292	0	0	0	0	0	0
293	0	0	0	0	0	0
294	0	0	0	0	0	0
295	0	0	0	0	0	0
296	0	0	0	0	0	0
297	0	0	0	0	0	0
298	0	0	0	0	0	0
299	0	0	0	0	0	0
300	0	0	0	0	0	0
301	0	0	0	0	0	0
302	0	0	0	0	0	0

303	0	0	0	0	0	0
304	0	0	0	0	0	0
305	0	0	0	0	0	0
306	0	0	0	0	0	0
307	0	0	0	0	0	0
308	0	0	0	0	0	0
309	0	0	0	0	0	0
310	0	0	0	0	0	0
311	0	0	0	0	0	0
312	0	0	0	0	0	0
313	0	0	0	0	0	0
314	0	0	0	0	0	0
315	0	0	0	0	0	0
316	0	0	0	0	0	0
317	0	0	0	0	0	0
318	0	0	0	0	0	0
319	0	0	0	0	0	0
320	0	0	0	0	0	0

321	0	0	0	0	0	0
322	0	0	0	0	0	0
323	0	0	0	0	0	0
324	0	0	0	0	0	0
325	0	0	0	0	0	0
326	0	0	0	0	0	0
327	0	0	0	0	0	0
328	0	0	0	0	0	0
329	0	0	0	0	0	0
330	0	0	0	0	0	0
331	0	0	0	0	0	0
332	0	0	0	0	0	0
333	0	0	0	0	0	0
334	0	0	0	0	0	0
335	0	0	0	0	0	0
336	0	0	0	0	0	0
337	0	0	0	0	0	0
338	0	0	0	0	0	0

339	0	0	0	0	0	0
340	0	0	0	0	0	0
341	0	0	0	0	0	0
342	0	0	0	0	0	0
343	0	0	0	0	0	0
344	0	0	0	0	0	0
345	0	0	0	0	0	0
346	0	0	0	0	0	0
347	0	0	0	0	0	0
348	0	0	0	0	0	0
349	0	0	0	0	0	0
350	0	0	0	0	0	0
351	0	0	0	0	0	0
352	0	0	0	0	0	0
353	0	0	0	0	0	0
354	0	0	0	0	0	0
355	0	0	0	0	0	0
356	0	0	0	0	0	0

357	0	0	0	0	0	0
358	0	0	0	0	0	0
359	0	0	0	0	0	0
360	0	0	0	0	0	0

11. REFERÊNCIAS

- [1] RETROFIT de Máquinas: calcule o retorno. [S. /], 27 jul. 2017. Disponível em: <http://fersiltec.com.br/blog/servicos-para-industria/retrofit-de-maquinas-aumente-produtividade-com-menor-investimento/>. Acesso em: 3 set. 2018.
- [2] [HTTP://WWW.MAO-CHUANG.COM/?ENPRODUCTS/PRODUCT54/200.HTML](http://www.mao-chuang.com/?enproducts/product54/200.html). [S. /], 4 jun. 2013. Disponível em: Products Name : MC-DZJ-60A automatic pocket spring machine. Acesso em: 10 set. 2018.
- [3] HIGH quality automatical mattress bonnell Spring making machine. [S. /], 25 jun. 2015. Disponível em: https://ksdix.en.alibaba.com/product/60501498675-0/High_quality_automatical_mattress_bonnell_Spring_making_machine.html?spm=a2700.icbuShop.41413.6.5aac5c287Zbqnz. Acesso em: 14 set. 2018.
- [4] MATTRESS Spring Making Machine Mattress Machine. [S. /], 12 jun. 2014. Disponível em: <https://portaltech.en.made-in-china.com/product/pyrmAWabqqkQ/China-Mattress-Spring-Making-Machine-Mattress-Machine.html>. Acesso em: 13 set. 2018.
- [5] DESDOBRAMENTO da Função Qualidade (QFD). [S. /], 17 ago. 2012. Disponível em: <https://blogdaqualidade.com.br/desdobramento-da-funcao-qualidade-qfd/>. Acesso em: 22 set. 2018.
- [6] DESDOBRAMENTO da Função Qualidade (QFD). [S. /], 17 ago. 2012. Disponível em: https://www.infoescola.com/administracao_/desdobramento-da-funcao-qualidade-qfd/. Acesso em: 23 set. 2018.
- [7] SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE. [S. /], 17 ago. 2012. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr10.htm>. Acesso em: 18 out. 2018.
- [8] NR-12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. [S. /], 17 ago. 2012. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>. Acesso em: 26 out. 2018.

- [9] - ZAVADIL, Priscila; DE VARGAS SCHERER, Fabiano; GONÇALVES TEIXEIRA, Fábio; PIERRE DA SILVA, Régio; KOLTERMANN, Tânia; CATTANI, Airton. Possibilidades de uso da matriz morfológica no processo de geração de alternativas em design. Blucher Design Proceedings, Gramado - RS, ano 2014, v. 1, n. 4, p. 01/12, 30 set. 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/11ped/00925.pdf>. Acesso em: 8 set. 2019.
- [10] - RODRIGUES, Marcus Vinicius. Ações para a qualidade: GEIQ, gestão integrada para a qualidade: padrão seis sigma, classe mundial. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004
- [11]- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10: SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE**. Brasil, 07 dez. 2004.
- [12] - ETAPAS DE UM PROJETO CONCEITUAL. Dpt de Engenharia Mecânica. Disponível em: <http://emc5301.paginas.ufsc.br/files/2014/03/Projeto_Conceitual.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2019.
- [13] - POSSIBILIDADES DE USO DA MATRIZ MORFOLÓGICA NO PROCESSO DE GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS EM DESIGN. Congresso brasileiro de pesquisa e Desenvolvimento em . Disponível em: <http://emc5301.paginas.ufsc.br/files/2014/03/Projeto_Conceitual.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2019.
- [14] POSSIBILIDADES de uso da matriz morfológica no processo de geração de alternativas em design. Gramado, 2 out. 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/designproceedings/11ped/00925.pdf>. Acesso em: 5 ago. 2019.
- [15] RETROFIT de Máquinas: calcule o retorno. [S. l.], 27 jul. 2017. Disponível em: <http://fersiltec.com.br/blog/servicos-para-industria/retrofit-de-maquinas-aumente-productividade-com-menor-investimento/>. Acesso em: 2 jul. 2019.
- [16] DIAS, Altamir. Projeto Conceitual. [S. l.], 2014. Disponível em: http://emc5301.paginas.ufsc.br/files/2014/03/Projeto_Conceitual.pdf. Acesso em: 13 maio 2019.
- [17] SANTOS, Vírgilio. O que é FMEA? Como aplicar? Aprenda mais sobre essa ferramenta. [S. l.], 7 mar. 2017. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/fmea/>. Acesso em: 20 maio 2019.

- [18] ENGRENAGEM de dentes helicoidais x engrenagem de dentes retos: veja as diferenças. [S. l.], 6 jul. 2019. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/gest-o/engrenagem-de-dentes-helicoidais-x-engrenagem-de-dentes-retos-veja-diferen>. Acesso em: 16 set. 2019.
- [19] RORHBART, Harold A. **Cams: design, dynamics and accuracy**. New York: Library of Congress, 1956.
- [20] NORTON, Robert L. **Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos**. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- [21] ENGRENAGEM HELICOIDAL MOD 1 Z 15. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://azanelli.com.br/engrenagem-helicoidal-mod-1-z-15>. Acesso em: 12 set. 2019.
- [22] PROPÓSITO de cada Tratamento Térmico. [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.temperaville.com.br/servicosPropositoTratamento.php>. Acesso em: 20 set. 2019.
- [23] CATÁLOGO Geral NSK. [S. l.], 2015. Disponível em: [http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf). Acesso em: 27 set. 2019.
- [24] ROLAMENTO de Esferas. [S. l.], 2015. Disponível em: https://www.skf.com/binary/82-121486/0901d19680416a2b-10000_2-PT-BR---Rolling-bearings.pdf. Acesso em: 27 set. 2019.
- [25] SANTOS, Vírgilio. FACA PARA GUILHOTINA INDUSTRIAL. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.novocortefacas.com.br/faca-guilhotina-industrial>. Acesso em: 14 out. 2019.