

N. CLASS. m620.0046
CUTTER P436m
ANO/EDIÇÃO 2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
THIAGO ANTÔNIO PEREIRA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: aplicação da Metodologia da
Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma embaladora automática vertical**

Varginha
2015

THIAGO ANTÔNIO PEREIRA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: aplicação da Metodologia da
Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma embaladora automática vertical**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré – requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica sob orientação do professor Esp. Rullyan Vieira.

Varginha

2015

THIAGO ANTÔNIO PEREIRA

**MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: aplicação da Metodologia da
MCC em uma máquina embaladora vertical**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Mecânica do Centro
Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG
como pré – requisito para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Mecânica sob
orientação do professor Esp. Rullyan Vieira.

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, que me deu forças para concluir mais esta etapa e aos amigos e professores que contribuíram com seus conhecimentos para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho aborda a aplicação da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) em uma Embaladora Automática Vertical. Através do histórico de falhas do equipamento, foi determinado qual dos sistemas presentes seria objetivo de aplicação da MCC. O objetivo principal foi desenvolver um plano de manutenção, baseado nos modos de falha mais significantes que levam o sistema a falha funcional e com isso, compara-lo ao atual plano de manutenção do equipamento avaliando os benefícios na melhoria da disponibilidade do equipamento. Para este trabalho foi utilizada a ferramenta FMEA (Failure Modes and Effects Analyses) como modo de detecção dos modos de falha, classificando-os baseado em critérios de severidade, ocorrência e detecção obtendo um grau de risco para cada consequência que cada modo de falha pode trazer ao sistema. Após, foram determinadas quais as atividades deverão ser realizadas para prevenir ou reduzir a ocorrência de falhas funcionais e qual a periodicidade destas atividades.

Palavras-Chave: Manutenção Centrada na Confiabilidade. Modos de Falha. Falhas Funcionais.

ABSTRACT

This article approaches the application of Reliability Centered Maintenance's methodology in one Automatic Pack Machinery. Through the Machinery Failure history, was determined which machinery systems would be objective of the application of the RCM. The main objective was develop one maintenance plan, based in the more significant failure modes that lead the system to the functional failure and with it, compares the actual maintenance plan evaluating the benefits in improvement of machinery's availability. For this job was used the toll FMEA (Failure Modes and Effects Analyses) as a way of detection of failure modes, classifying them based in criteria of severity, occurrence and detection get one risk grade for which consequence that which failure mode can bring to the system. After, were determined which activities would be performed to prevent or reduce the occurrence of functional failure and which periodicity of these activities.

Keywords: *Reliability Centered Maintenance. Failure Mode., Functional Failure.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Embaladora Vertical Automática	14
Figura 02 – Sistema de Desbobinamento	15
Figura 03 – Sistema de tração de Filme	16
Figura 04 – Sistema de formação	17
Figura 05 – Sistema de Selagem Vertical.....	18
Figura 06 – Sistema de Selagem Horizontal	18
Figura 07 – Sistema de Dosagem	19
Figura 08 – Evolução da Manutenção	21
Figura 09 – Expectativa de crescimento da manutenção.....	23
Figura 10 – Classificação da Manutenção.....	23
Figura 11 – Característica de desgaste	28
Figura 12 – Estratégia de Manutenção para elaboração Mapa de 52 semanas.....	30
Figura 13 – Plano de Manutenção do Setor.....	30
Figura 14 – Divisão do plano no mapa de 52 semanas	31
Figura 15 – Tempo Médio entre Falhas Embaladora de Refresco	32
Figura 16 – Tempo Médio de Reparo Embaladora de Refresco	32
Figura 17 – Disponibilidade Embaladora de Refresco	33
Figura 18 – Falhas da Embaladora de Refresco	34
Figura 19 – Estrutura Organizacional Embaladora Vertical	35
Figura 20 – Diagrama de Bloco contendo os Fluxos, Fronteiras e Subsistemas.....	36
Figura 21 – Estrutura Organizacional Sistema de Selagem Horizontal e Subsistemas....	36
Figura 22 – Subsistema de Movimentação.....	37
Figura 23 – Diagrama de Blocos Subsistema de movimentação	38
Figura 24 – Subsistema de sustentação	38
Figura 25 – Diagrama de Blocos subsistema de Sustentação.....	38
Figura 26 – Subsistema de Aquecimento	39
Figura 27 – Diagrama de blocos Subsistema de Aquecimento	39
Figura 28 – Parâmetro de posição de fechamento dos mordentes.....	45
Figura 29 – Alteração do apoio dos mordentes.....	46
Figura 30 – Disponibilidade previstas com redução das principais causas de paradas.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- MTBF – Tempo Médio Entre Falhas
- MTTR – Tempo Médio de Reparo
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- DISP – Disponibilidade
- FMEA – Análise de Causa e Efeito de Falhas
- MCC – Manutenção Centrada na Confiabilidade
- AISI - American Iron and Steel Institute
- TPM – Manutenção Produtiva Total
- NBR – Norma Brasileira
- UHMW – Polietileno de Ultra alto Peso Molecular
- ESA – Falha Evidente Segurança Ambiental
- EEO – Falha Evidente Econômica Operacional
- OEO – Falha Oculta Econômica Operacional
- OSA – Falha Oculta Segurança Ambiental
- SO – Serviço Operacional
- IP – Inspeção Preditiva
- RP – Restauração Preventiva
- SP – Substituição Preventiva
- IF – Inspeção Funcional
- IHM – Interfase Homem Máquina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 EMBALAMENTO DE PRODUTOS.....	14
2.1 Embaladoras Automáticas.....	14
2.1.1 Embaladora Automática de Refresco 30g	15
2.1.1.1 Desbobinamento	15
2.1.1.2 Tracionamento de embalagem.....	16
2.1.1.3 Formação de Pacotes	16
2.1.1.4 Selagem Vertical e horizontal.....	17
2.1.1.5 Corte Vertical e Horizontal	18
2.1.1.6 Dosagem de Produto.....	19
2.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade.....	19
2.2.1 História da MCC.....	20
2.2.1.1 Primeira Geração	21
2.2.1.2 Segunda Geração	21
2.2.1.3 Terceira Geração.....	22
2.3 Classificação da Manutenção	23
2.3.1 Quanto a programação.....	23
2.3.2 Quanto aos objetivos	24
2.4 Consequência das falhas	24
2.5 Metodologia da MCC.....	25
2.5.1 Conceitos e definições.....	25
2.5.2 Funções.....	25
2.5.3 Falhas.....	26
2.5.4 Modos de falhas.....	27
2.5.5 Padrões de Falhas	28
2.5.5.1 Padrão A	28
2.5.5.2 Padrão B	28
2.5.5.3 Padrão C	29
2.5.5.4 Padrão D	29
2.5.5.5 Padrão E.....	29
2.5.5.6 Padrão F.....	29
2.6 Plano de manutenção atual.....	29
2.7 Aplicação da Metodologia.....	31
2.7.1 Etapa 1 – Seleção do sistema e coleta de informações.....	33
2.7.2 Etapa 2 – Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)	40
2.7.3 Etapa 3 – Análise das consequências das falhas.....	41
2.7.4 Etapa 4 – Seleção das Tarefas Aplicáveis e Efetivas	42
2.7.5 Etapa 5 – Definição da Periodicidade das Tarefas	47
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	50
4 COMPARAÇÃO DO PLANO ATUAL COM O PROPOSTO PELA MCC	51
5 CONCLUSÃO.....	53

REFERÊNCIAS54

APÊNDICE 155
APÊNDICE 256

ANEXO 1.....64
ANEXO 2.....65
ANEXO 3.....66
ANEXO 4.....67

1 INTRODUÇÃO

Hoje as grandes companhias, principalmente a dos países mais desenvolvidos, não enxergam a manutenção apenas como um setor de gastos da fábrica mais sim, como um setor de função estratégica com o principal objetivo de aumento de produtividade. Segundo Pinto e Xavier (2007) a manutenção precisa ser estratégica voltada para os resultados empresariais da organização, deixando de ser apenas eficiente, ou seja, não basta apenas reparar o equipamento ou instalação tão rápido quanto possível, mas também precisa ser eficaz mantendo a função do equipamento disponível para a operação.

Antes o que se pensava a respeito da manutenção era que sua missão estava em, recuperar as condições iniciais das máquinas e instalações. Hoje sua missão é: garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou serviço, com qualidade, confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

O setor de manutenção de grande parte das plantas industriais ainda opera de forma reativa, aplicando manutenções corretivas ou manutenções preventivas mal planejadas e insuficientes (DESHPAND MODAK, 2001). Hoje o Brasil é carente de ferramentas para estruturação do plano de manutenção, este sendo muitas vezes criado de forma empírica sem nenhuma metodologia de análise das atividades a serem executadas, “[...] sob o aspecto técnico, as práticas de manutenção tem apresentado bastante evolução, porém ainda existe carência quanto a métodos de tomada de decisão que permitam selecionar a (melhor) política de manutenção para o equipamento.” (BRITO, 2014 p. 87).

Novos métodos de tomada de decisão e estudos na área de manutenção são desenvolvidos por diversos setores, com o objetivo de melhorar o controle dos gastos ligados à manutenção de seus ativos. Podemos citar como uns dos mais utilizados a Manutenção Produtiva Total ou TPM (Total Productive Maintenance) e a Manutenção Centrada na Confiabilidade ou MCC. A aviação comercial americana foi pioneira na utilização da metodologia da MCC, no último século eram enormes os acidentes aéreos sendo de 60 por milhão de decolagens (VIANA, 2013 p.100).

A aviação civil buscou o bloqueio destes acontecimentos e, foi através da aplicação da MCC que ela alcançou os melhores resultados, desenvolvido entre as décadas de 1960 e 1970, sendo em 1978 o marco inicial com a publicação, por parte dos funcionários da United Airlines, Howard Heap e Stanley Nowlan, do livro *Reliability-Centered Maintenance*, publicado pelo departamento de defesa dos Estados Unidos (VIANA, 2013 p.100). Segundo

Viana (2013) a MCC consiste em um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional, sendo uma técnica que visa estudar as diversas formas de como um componente pode vir a falhar, visualizando através disto ações de bloqueios pertinentes a serem tomadas.

Os benefícios da MCC foram logo percebidos pela indústria elétrica e nuclear, devido as similaridades dos requisitos de segurança com a indústria aeronáutica, dez anos depois a MCC foi utilizada para manutenção de submarinos nucleares com mísseis balísticos. Diversos testes, com a utilização da MCC, nestes setores foram realizados produzindo resultados favoráveis motivando sua adoção crescente pelo setor elétrico mundial, expandindo-se para os demais setores produtivos como construção civil, indústria química, refino e extração de petróleo, indústria de gás, siderurgia, papel, celulose, alimentos, mineração, transportes e até hospitais (SIQUEIRA, 2014 p.9).

Dentro deste contexto, este trabalho abordará a metodologia estruturada da MCC, como ferramenta de tomada de decisões, no setor de manutenção de uma empresa de produção de alimentos. Um dos setores desta indústria possui diversas categorias de máquinas para o empacotamento de seus produtos secos como temperos, refrescos, amido de milho, sopas etc. Tendo em conta que o setor não possui um plano de manutenção estruturado, no sentido de não se haver um estudo prévio das atividades de manutenção que deveriam ser executadas nos equipamentos, foi que inicialmente desenvolveu-se a ideia de aplicar a metodologia da MCC em um dos equipamentos da planta, com o objetivo de se criar um plano ao qual as atividades de manutenção passariam por uma tratativa para justificar sua execução. Analisando o histórico de falhas dos equipamentos, e sua importância em relação a volume de produção para a planta, a linha definida como alvo de estudo foi a de Refrescos, esta linha representa, em períodos de alta, volumes que superam 350 toneladas/mês e dispunham de um histórico de falhas mais antigo do que as demais linhas do setor. Os demais indicadores desta linha serão apresentados nos próximos capítulos deste trabalho. Para o desenvolvimento desta proposta, foi necessário o envolvimento do pessoal de manutenção e operação do setor, estes principais responsáveis por auxiliar nas repostas necessárias para o desenvolvimento da metodologia.

Num segundo momento, depois de pesquisas realizadas, verificou-se que se tratava de uma metodologia de um grau de complexidade elevado para ser aplicada em todo o equipamento. Sendo assim, verificando o histórico de falhas do equipamento, pode-se perceber que as maiores falhas deste estavam relacionadas ao sistema de Selagem dos pacotes na horizontal, ou seja, este sistema é que foi o alvo deste presente estudo.

Espera-se com a aplicação da MCC ganho de disponibilidade do equipamento, este traduzindo-se em maior ganho em volumes de produção.

2 EMBALAMENTO DE PRODUTOS

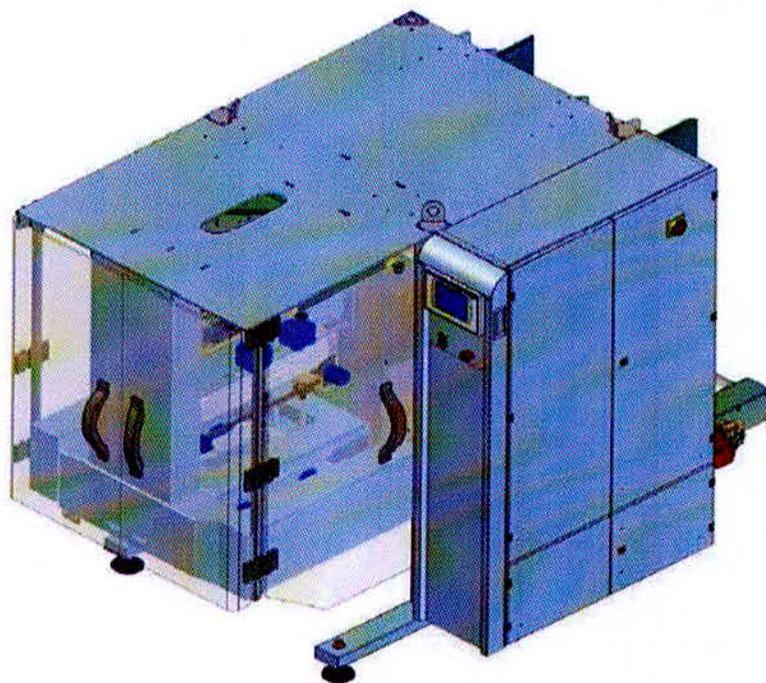
Este capítulo apresentará o conceito de uma embaladora vertical fazendo uma breve introdução de sua finalidade, passando pelos sistemas que constituem este equipamento, explicando o funcionamento e mostrando a importância de cada sistema para o desempenho da função principal (embalar o produto).

2.1 Embaladoras Automáticas

As Embaladoras Automáticas são equipamentos de suma importância para os processos industriais. São equipamentos largamente encontrados em industriais farmacêuticas e de alimentos, com o objetivo de tornar o processo de embalagem de seus produtos mais ágil e automatizado, constituindo a evolução de um processo manual, ou seja, todas as atividades anteriormente realizadas com a utilização de grande quantidade de mão de obra hoje são, em sua grande maioria, realizadas por estes equipamentos.

A figura 01 mostra a estrutura que normalmente constitui este tipo de equipamento.

Figura 01: Embaladora vertical automática



Fonte: Arquivos da empresa

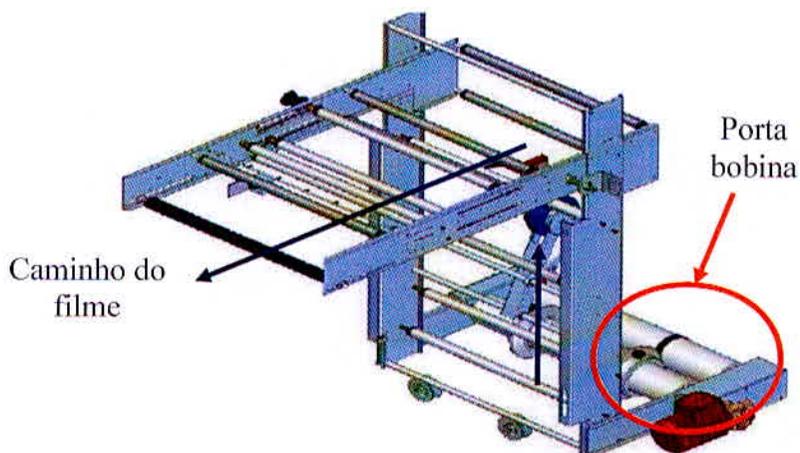
2.1.1 Embaladora Automática de Refresco 30g

O Embalamento Automático para refresco 30g contempla diversas operações, com a finalidade de acomodar o produto dentro de uma embalagem metálica, e que esta garanta por um período pré-estabelecido (validade do produto), suas características químicas e físicas. Podemos citar como funções desempenhadas pelo equipamento: Desbobinamento, Tracionamento (puxada) da embalagem, Formação de Pacotes, Selagem Vertical e Horizontal da embalagem, Corte Vertical e Horizontal da embalagem Dosagem de Produto.

2.1.1.1 Desbobinamento

O Desbobinamento é necessário porque as embalagens, por questões de espaço, são fabricadas em forma de bobinas. A bobina é acondicionada no porta bobina da máquina e em seguida faz se a passagem da embalagem pelo sistema de Desbobinamento. Por meio de um eixo roletado móvel, com curso controlado por sensores indutivos, a embalagem é desenrolada da bobina e tracionada pelo sistema de tração, abaixo, na figura 02, segue a estrutura que constitui o sistema.

Figura 02: Sistema de Desbobinamento

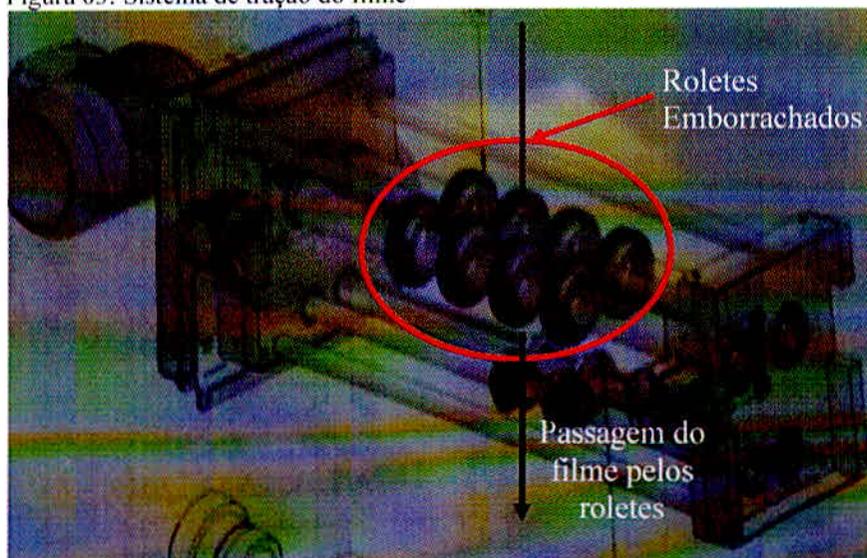


Fonte: Arquivos da empresa

2.1.1.2 Tracionamento de embalagem

O Tracionamento de Embalagem é o Sistema de puxada da embalagem (figura 03), ou seja, a este sistema é atribuída a função de arraste de toda a embalagem desde da bobina, Sistema de Desbobinamento, Sistema de Formação, Sistema de corte vertical. Este arraste é gerado pelo contato de roletes de material emborrachado com a embalagem, e em movimento circulares efetuam o a tração.

Figura 03: Sistema de tração do filme

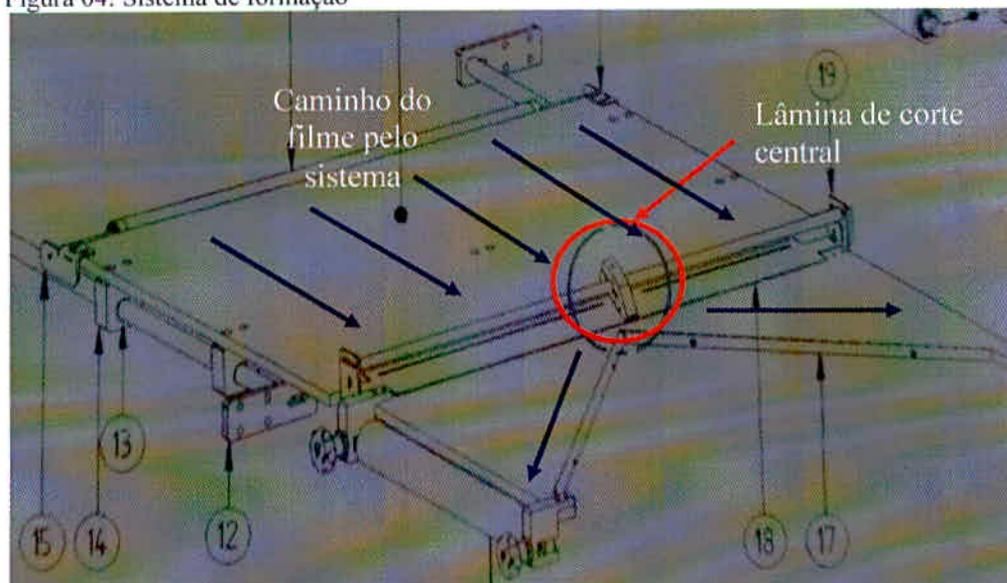


Fonte: Arquivos da empresa

2.1.1.3 Formação de pacotes

É por este Sistema que são formados os pacotes para armazenamento do produto, este é munido de uma mesa, localizada na parte superior da máquina. No centro desta mesa existe uma lâmina que faz o corte da embalagem que vem em forma de bobina. Após o corte, cada parte da embalagem segue por roletes que efetuam o alinhamento da folha cortada e após voltam a se encontrar formando a parte frontal e traseira do pacote, sendo posteriormente unidas pelo Sistema de Selagem Vertical e Horizontal. Segue abaixo na figura 04, o esquema deste sistema.

Figura 04: Sistema de formação



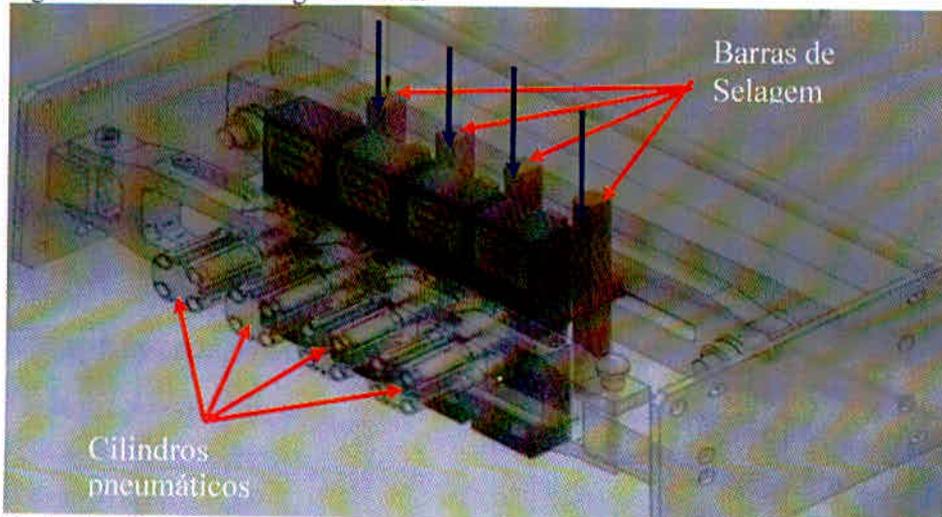
Fonte: Arquivos da empresa

2.1.1.4 Selagem Vertical e Horizontal

A função da Selagem Vertical e Horizontal é realizar a selagem dos pacotes. Esta selagem é necessária para garantir a acomodação do produto dentro do pacote formado sem que este perca suas características físicas e químicas pré-estabelecidas, ou seja, esta selagem não pode permitir a passagem de ar externo após selagem entrando em contato com o produto. Para a selagem no sentido vertical, são utilizadas barras metálicas munidas de resistências elétricas, estas com a finalidade de aquecer as mesmas, e estas barras são ligadas por dispositivos a cilindros pneumáticos que atuam conforme o sincronismo da máquina.

Na figura 05, segue a estrutura do sistema de selagem vertical.

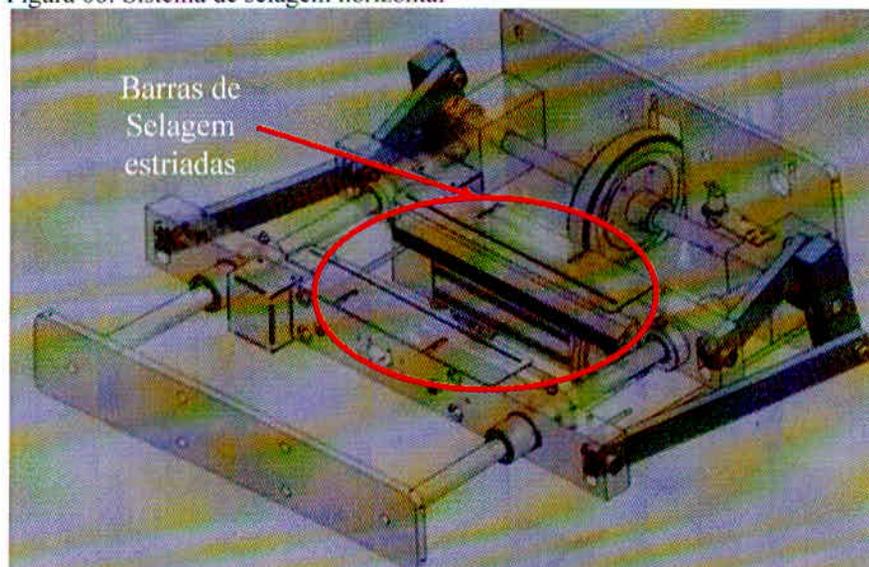
Figura 05: Sistema de selagem vertical



Fonte: Arquivos da empresa

Para selagem no sentido horizontal, são utilizadas barras metálicas usinadas com perfil estriado, fabricadas de material Aço AISI H13 munidas com resistências elétricas para aquecimento. Estas, por meio de movimentos horizontais efetuadas por servo motor, prensam a embalagem efetuando a selagem da mesma. A figura 06 mostra a estrutura do sistema.

Figura 06: Sistema de selagem horizontal



Fonte: Arquivos da empresa

2.1.1.5 Corte Vertical e Horizontal

No Sistema de corte Vertical é feita a separação dos pacotes formados e selados pelos subsistemas anteriores. Para o corte vertical são utilizados bisturis fixos em suportes próximos ao subsistema de tração estes executando o corte da embalagem na vertical no momento em que a embalagem é tracionada.

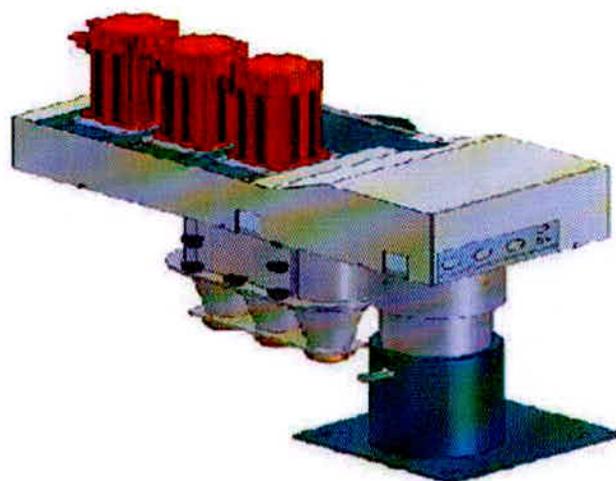
Para o corte horizontal, é utilizada uma faca com perfil serrilhado, esta é acoplada por um dispositivo a um cilindro pneumático e alojada em um canal localizado no meio da barra metálica que efetua a selagem horizontal. Depois de efetuada a selagem no sentido horizontal, é efetuado o corte dos pacotes estes sendo liberados para uma esteira de transporte.

2.1.1.6 Dosagem de produto

Este Sistema é o responsável por transportar o produto que está armazenado e colocá-lo dentro da embalagem já selada pelos subsistemas citados anteriormente. Esta atividade é feita de forma sincronizada com os demais sistemas, ou seja, a Dosagem é um dispositivo que opera em sincronismo com o ciclo automático. Este Sistema contém tubos e roscas que são os

responsáveis pelo deslocamento de produto, são dispostos no sentido vertical e acoplados por dispositivos a parte superior da máquina, esta contendo um tanque para armazenamento do produto. A dosagem é efetuada sempre após todas as selagens terem sido feitas, isto para evitar vazamentos de produto evitando perdas para o processo. A estrutura do sistema pode ser vista na figura 07.

Figura 07: Sistema de dosagem



Fonte: Arquivos da empresa

2.2 Manutenção Centrada na Confiabilidade

Com o objetivo principal de maximizar a produção, a busca por grandes volumes é extrema importância para a sobrevivência de uma grande empresa, já que os custos relacionados à operação, custos fixos, são diluídos por estes volumes. Segundo Brito (2014) as indústrias chegaram num nível em que ganhos de produtividade são indispensáveis para sua sobrevivência, a competição disputada entre empresas determina um cenário onde não basta apenas produzir, é necessário produzir com qualidade e baixos custos.

A função da manutenção neste processo, como já dito anteriormente, é estratégica com a principal função de aumento de produtividade, devendo ser eficiente e eficaz, como salientam Pinto e Nasif (2003), em termos de confiabilidade, disponibilidade, custo e qualidade. As empresas buscam, nos seus setores de manutenção, resultados satisfatórios mantendo uma confiabilidade adequada dos seus ativos.

Com origem na década de 60, a MCC teve seu início no setor aeronáutico americano. Apresentando bons resultados, a metodologia passou a ser utilizada pelos demais setores

como elétrico, petróleo, celulose, indústrias de gás, siderurgia, mineração, transportes, alimentos etc. A MCC consiste numa metodologia sistemática, usada para aperfeiçoar as estratégias de manutenção planejada, ou seja, a manutenção corretiva, preventiva e por melhorias (BRITO, 2014 p. 88). Segundo Brito (2014) o foco da MCC está na preservação da função do sistema, ao invés de restabelecer o item físico para a condição ideal.

A metodologia inicia identificando as funções do equipamento, no que tange no seu conceito operacional, levantam os modos de falha e suas causas prováveis e por fim detalha as consequências e efeitos destas falhas, permitindo assim analisar a criticidade das falhas e permitindo a identificação das consequências mais significativas que ameaçam a segurança, a confiabilidade ou o custo. A metodologia permite escolher as atividades adequadas de manutenção focadas nos modos de falha levantados.

2.2.1 História da MCC

O início da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) está relacionado aos processos tecnológicos e sociais que se apresentaram após a Segunda Guerra Mundial. No campo tecnológico, foram cruciais as pesquisas iniciadas pela indústria bélica americana, seguidas pela automação industrial em escala mundial, viabilizadas pela melhoria da informática e telecomunicações, presentes em todos os aspectos da sociedade atual (SIQUERA, 2014 p.3).

No campo social, este movimento teve como resultado a dependência da sociedade contemporânea em relação aos meios automáticos de produção. Sua dimensão ganhou níveis suficientes para afetar o meio ambiente e a própria segurança dos seres humanos. Em paralelo, evoluiu a percepção mundial da importância da preservação do meio ambiente, aliado a uma necessidade contínua de garantia de segurança. Atualmente, exige-se que os processos de projeto e manutenção dos meios de produção não só atendam estes anseios, mas que sejam estruturados de forma clara e auditável, permitindo à sociedade exercer seu papel de promotora e fiscalizadora (SIQUEIRA, 2014 p.3).

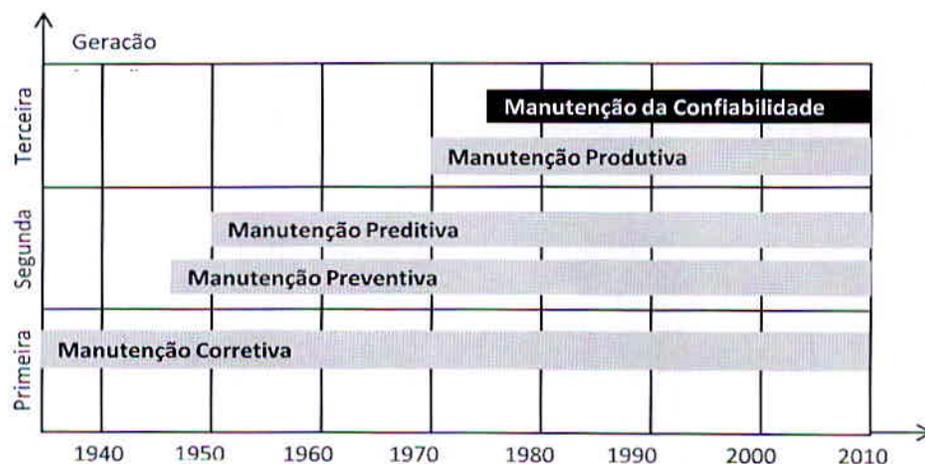
Estes anseios deram origem a exigências prioritárias sobre a forma de projetar e manter os processos industriais, motivando o desenvolvimento da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (SIQUERA, 2014 p.3). Segundo Moubray (1997) desde 1930 a manutenção tem evoluído podendo ser traçada por três gerações, sendo elas:

- a) Primeira Geração: Mecanização
- b) Segunda Geração: Industrialização

c) Terceira Geração: Automação

A evolução da manutenção pode ser vista através da figura 08.

Figura 08 : Evolução da Manutenção



Fonte: (adaptado de SIQUEIRA, 2014, p.4)

2.2.1.1 Primeira Geração

A Primeira Geração cobriu o período até a Segunda Guerra Mundial. Naqueles dias a indústria não era altamente mecanizada, então a redução de tempo não importava muito. Isto significava que a prevenção das falhas dos equipamentos não era a mais alta prioridade na mente da maioria dos gerentes. Ao mesmo tempo, a maioria dos equipamentos era de simples construção fazendo com que fossem confiáveis e de fácil reparo. O resultado, não existia a necessidade de sistematizar a manutenção, mas apenas limpezas simples e lubrificações de rotina (MOUBRAY, 1997, p.2).

2.2.1.2 Segunda Geração

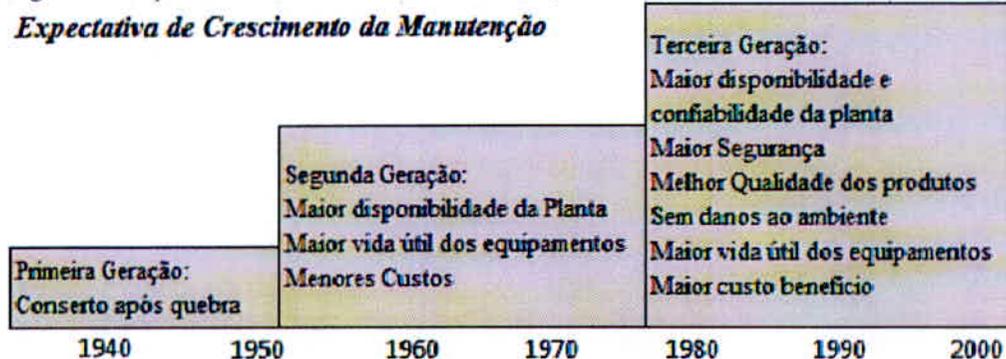
As coisas mudaram dramaticamente durante a Segunda Guerra Mundial. Os tempos de guerra pressionavam as demandas de todo o tipo de coisa enquanto o fornecimento de mão de obra caía rapidamente, forçando o crescimento da mecanização. Por volta de 1950, às máquinas de todos os tipos eram mais numerosas e complexas. A indústria estava iniciando a dependência delas. Tão logo esta dependência cresceu, a redução de tempo chegou se tornando foco, conduzindo para a ideia que as falhas dos equipamentos poderiam e deveriam

ser prevenidas, criando assim o conceito de manutenção preventiva. O custo de manutenção também cresceu exatamente relativo a outros custos operacionais. Isto conduziu para o desenvolvimento de um plano de manutenção e o controle dos sistemas, ajudando grandemente a manutenção a melhorar o baixo controle, estabilizando parte das práticas de manutenção (MOUBRAY, 1997, p.2).

2.2.1.3 Terceira Geração

A terceira geração da manutenção evoluiu da incapacidade das técnicas de manutenção frente às exigências da automação ocorridas na indústria a partir de 1975. Simultaneamente, o consumo em larga escala de produtos industrializados elevou o nível de dependência da sociedade aos processos industriais. A elevação de custos, de mão de obra e de capital, associados à concorrência em escala mundial, conduziram a prática do dimensionamento de equipamentos no limite da necessidade dos processos, tornando mais estreitas suas faixas de operacionais, aumentando a importância da manutenção. Nas indústrias de manufatura, os efeitos resultantes de indisponibilidade se agravaram pela adoção quase universal do sistema “*Just-in-time*”, onde estoques reduzidos de produtos inacabados significavam que pequenas interrupções eram mais prováveis de interromper toda a linha de produção. Nesta Geração, além dos requisitos de maior disponibilidade, confiabilidade, e vida útil, a sociedade passou a exigir melhor qualidade e garantia de desempenho dos produtos (SIQUERA, 2014 p.6)

Figura 09: Expectativa de crescimento da Manutenção

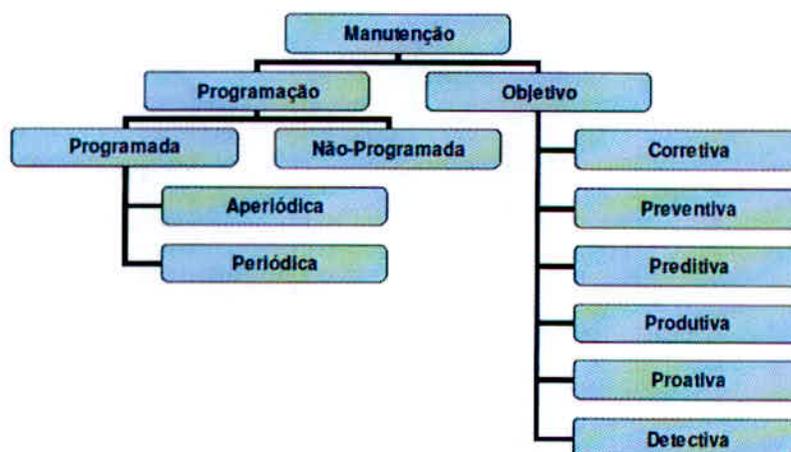


Fonte: (adaptado de MOUBRAY, 1997, p.3)

2.3 Classificação da Manutenção

Segundo Siqueira (2014) atividades de manutenção tem sido usualmente classificadas de acordo com a programação e o objetivo das tarefas a serem executadas.

Figura 10: Classificação da Manutenção



Fonte: (adaptado de SIQUEIRA, 2014, p.12)

2.3.1 Quanto à programação

Em relação à programação, são comuns as classes de Manutenção programada e Não programada para designar, as atividades executadas seguindo a critérios de tempo e condições pré-definidas e as executadas em função da necessidade. As Manutenções programadas podem ser periódicas, se realizadas a intervalos fixos de tempo, ou aperiódicas, quando realizadas a intervalos variáveis, ou dependendo das oportunidades (SIQUERA, 2014 p.11).

2.3.2 Quanto aos objetivos

Os tipos de manutenção são também divididos de acordo com a ação dos usuários em relação às falhas. Seis categorias são normalmente identificadas, a Manutenção Corretiva ou Reativa destina-se a corrigir as falhas depois que tenham ocorrido, enquanto a Manutenção Preventiva tem a finalidade de prevenir e evitar a consequência das falhas. A Manutenção Preditiva busca a previsão ou antecipação da falha; medindo variáveis que indiquem o desenvolvimento de uma falha a tempo de serem corrigidas. Da mesma forma, a Manutenção Detectiva identifica falhas que já tenham ocorrido, mas que não sejam percebidas. A Manutenção produtiva objetiva garantir a melhor utilização e melhoria da produtividade dos equipamentos. Por fim, na Manutenção Proativa, a experiência é utilizada para aperfeiçoar o processo e o projeto de novos equipamentos, em uma atitude proativa de melhorias (SIQUEIRA, 2014 p.13)

2.4 Consequências das falhas

A consequência das falhas é o que define a filosofia central da MCC, Siqueira (2014) diz que uma estratégia efetiva de manutenção concentra-se em evitar ou reduzir as consequências significantes de falhas, concentrando o foco nas mesmas priorizando o atendimento as necessidades do processo ou aplicação, em detrimento das necessidades próprias ou individuais dos itens. Ainda segundo o autor, é necessário efetuar o estudo dos modos de falhas dos equipamentos como forma efetiva de combater as consequências das falhas.

Visando a redução dos efeitos das falhas, a metodologia aborda como principais pilares:

- a) Preservar as funções dos sistemas;
- b) Identificar modos de falhas que possam interromper as funções;
- c) Priorizar as necessidades das funções;
- d) Selecionar tarefas preventivas que sejam aplicáveis e efetivas;
- e) Determinar periodicidades ótimas para as atividades.

Em resumo as funções possuem um papel decisivo na MCC, como forma de atendimento as demandas dos usuários, em substituição aos requisitos específicos de cada equipamento. Para garantir estes objetivos, a MCC estabelece como ponto de partida uma

série de questões, cuja respostas devem anteceder à definição das atividades de manutenção (SIQUEIRA, 2014 p.18).

2.5 Metodologia da MCC

A MCC, com o objetivo de escolher métodos adequados de manutenção procura responder a sete questões básicas. Segundo Moubray (1997) estas questões são:

- a) Quais são as funções e padrões de desempenho associadas ao equipamento no presente contexto operacional?
- b) De que modo o sistema para de cumprir suas funções?
- c) O que causa cada falha funcional?
- d) O que acontece quando esta falha ocorre?
- e) De que modo esta falha importa?
- f) O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- g) O que deve ser feito se a não for encontrado uma tarefa proativa apropriada?

Siqueira (2014) diz que para responder a estas questões, a MCC utiliza métodos e ferramentas de um conjunto aberto de soluções, algumas tradicionais e outras recentes, segundo uma sequência estruturada e bem documentada.

2.5.1 Conceitos e definições

Para o perfeito entendimento da MCC, é necessário o entendimento de diversas definições estas associadas às funções e falhas dos ativos físicos. A seguir serão apresentados conceitos e definições que possibilitarão o entendimento o processo da MCC.

2.5.2 Funções

Segundo a norma NBR 5462 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), função requerida são funções ou combinações de funções consideradas necessárias para se promover um dado serviço, dentro deste contexto a MCC trata de desenvolver um plano de manutenção focado na preservação das funções do sistema como foca da primeira etapa da metodologia. A preservação das funções realizadas por sistemas e processos industriais, na ótica de seus usuários ou proprietários, constitui o a meta principal das metodologias modernas de manutenção (SIQUEIRA, 2014 pag.27).

As funções, dentro da metodologia da MCC, podem ser classificadas como funções primárias e funções secundárias:

As funções primárias resumem inicialmente porque o ativo foi adquirido. Esta categoria de funções engloba problemas como capacidade de armazenagem, velocidade, serviço ao cliente e qualidade do produto, etc (MOUBRAY, 1997, p.8).

As funções secundárias reconhecem que todo ativo faça mais do que simplesmente suas funções primárias. Usuários também possuem expectativas nas áreas como segurança, controle, contenção, conforto, conformidade com as leis ambientais e até a aparência do ativo (MOUBRAY, 1997, p.8).

2.5.3 Falhas

Falha é o término da capacidade de um item realizar a função requerida (NBR 5462, 1994 pg. 3). Segundo Moubray (1997), o único acontecimento provável de parar a performance padrão requerida de um ativo pelo seu usuário é algum tipo de falha. Isto sugere que a manutenção deva alcançar seus objetivos pela adoção de uma aproximação adequada para o gerenciamento das falhas.

As falhas podem ser classificadas de diversas formas conforme a seguir:

- a) Quanto à origem: Falhas podem ter origem primária, quando se originam de deficiências de um componente, dentro dos limites normais de operação; ou origens secundárias derivadas de operação fora dos limites normais, tais como descargas atmosféricas, sobrecargas, etc. Falhas de comando se originam de ordens errôneas do operador ou uso inadequado pelo usuário (SIQUEIRA, 2014 pg.52);
- b) Quanto à extensão: De acordo com sua extensão, as falhas serão parciais, quando à o desvio de alguma característica funcional do item, além dos limites especificados, mais sem perda total da função; ou falhas completas, quando provocam a perda total da função requerida do item (SIQUEIRA, 2014 pg.52);
- c) Quanto à velocidade: Falhas podem ser classificadas, segundo a velocidade com que ocorrem, em falhas graduais, quando são percebidas ou previstas por uma inspeção antes que ocorram, e falhas repentinas, em caso contrário. (SIQUEIRA, 2014 pg.53);
- d) Quanto à manifestação: Esta classificação de falha refere-se a forma como se manifesta a falha, a qual pode ocorrer por degradação, quando ela aparece simultaneamente de forma gradual e parcial, podendo tornar-se total ao longo do tempo, ao contrário das falhas catastróficas que ocorrem simultaneamente de forma repentina e completa. Também existe

as falhas intermitentes, que persistem por tempo limitado, após o qual o item volta ao seu estado normal aparentemente sem ação externa (SIQUEIRA, 2014 pg.53);

- e) Quanto à criticidade: As falhas também podem ser classificadas segundo sua criticidade. Falhas críticas serão aquelas que produzem condições de insegurança ou perigosas para quem usa, mantém ou depende do item, ou que podem causar grandes danos materiais ou ambientais. As falhas não críticas seriam aquelas que não provocam estes efeitos (SIQUEIRA, 2014 pg.53);
- f) Quanto a idade: Falhas influem na vida útil ou produtiva de um item. Sobre estas variáveis as falhas podem ser classificadas em prematuras, quando acontecem durante início de vida da máquina, normalmente é associada a defeitos grosseiros de fabricação; ou aleatórios, quando ocorrem de maneira imprevisível, durante todo período de vida útil do equipamento sendo comuns em equipamentos complexos; finalmente, as falhas podem ser progressivas, quando ocorrem após o período de vida útil, como resultado do processo de desgaste, deterioração e envelhecimento do item (SIQUEIRA, 2014 pg.53).

Segundo a MCC as falhas também podem ser classificadas:

- a) Falhas funcionais: não capacidade de um item de realizar uma função específica dentro dos limites desejados de performance (SIQUEIRA, 2014 pg. 54)
- b) Falhas potenciais: condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência (SIQUEIRA, 2014 pg. 54)

2.5.4 Modos de Falha

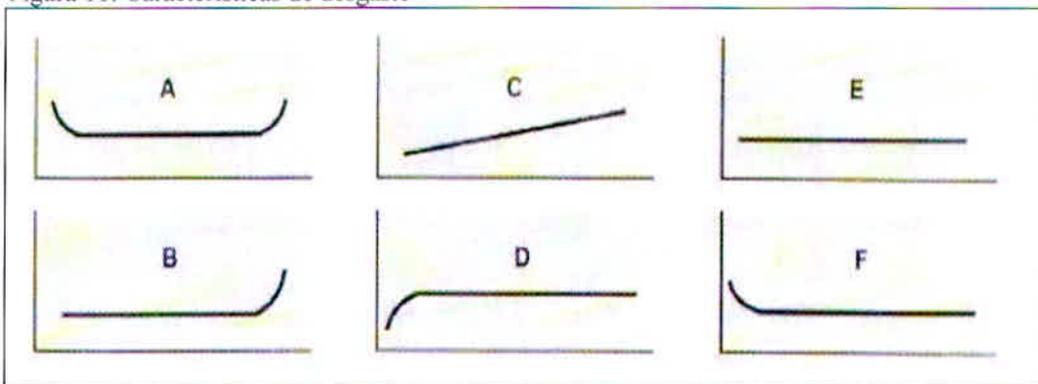
Segundo Brito (2014), um Modo de Falha é definido como qualquer evento que possa levar um ativo (sistema ou processo) a falhar. Este se relaciona com as causas das falhas funcionais. Não se pode confundir falha funcional com o modo de falhas, ou seja, Siqueira 2014 diz que ao contrário da falha funcional associada a um estado anormal da função do equipamento, o modo de falha é associado ao evento físico que provoca a transição do estado normal para o estado anormal. Ainda segundo o autor, os modos de falha descrevem como as falhas funcionais acontecem.

2.5.5 Padrões de falhas

As frequências de ocorrência das falhas em relação à idade operacional de um equipamento podem ser representadas pelos padrões de falhas. De acordo com Siqueira (2014), existem quatro mecanismos que levam um componente a falhar, sendo eles, Desgaste Progressivo, Falha Inesperada, Desgaste por Fadiga e Mortalidade Infantil.

Estes mecanismos se relacionam com as curvas de falhas, conforme ilustrado na figura 11.

Figura 11: Características de desgaste



Fonte: (SIQUEIRA, 2014, pg 79)

2.5.5.1 Padrão A

O Padrão A é a bem conhecida curva da banheira, assim designada pelo seu formato característico. Nesse padrão, há uma alta incidência de falhas no início da operação do item (mortalidade infantil), seguido de uma probabilidade de falhas constante e posteriormente, de uma elevação na frequência, devido a degradação do maquina. Esse padrão descreve falhas relacionadas à montagem do equipamento, bem como com a idade dos componentes (BRITO, 2014 pg.93).

2.5.5.2. Padrão B

O Padrão B apresenta probabilidade constante de falha, seguida de uma zona de acentuado desgaste no fim de sua vida útil. Esse padrão descreve falhas relacionadas com a idade dos componentes. Componentes em equipamentos podem se comportar dessa maneira, principalmente, aqueles que deterioram naturalmente com o tempo, que estão sujeitos a

esforços cíclicos e repetitivos ou que entram em contato direto com a materia prima ou produto final (BRITO, 2014 pg. 93).

2.5.5.3 Padrão C

O Padrão C apresenta um aumento lento e gradual da taxa de falha, porem sem uma zona definida de desgaste. Uma possível causa para a ocorrência de padrões de falha do tipo C é fadiga (BRITO, 2014 pg. 94).

2.5.5.4 Padrão D

O Padrão D mostra baixa taxa de falha quando o item é novo e sofre posteriormente um rápido aumento da taxa de falha para um nível constante (BRITO, 2014 pg 94).

2.5.5.5 Padrão E

O Padrão E mostra uma taxa de falha constante em qualquer período. Nesse padrão, a natureza das falhas é aleatória. O MTBF não deve ser utilizado nesse padrão como fim da vida útil, pois em nenhum período se verifica o aumento da taxa de falha (BRITO, 2014 pg 94).

2.5.5.6 Padrão F

O Padrão F indica que uma maior probabilidade de falhas ocorre quando o componente é novo ou imediatamente após restauração iniciando com uma alta mortalidade infantil, caindo posteriormente para uma taxa de falhas constante (BRITO, 2014 pg 94).

2.6 Plano de Manutenção Atual

O atual plano de manutenção, referente ao equipamento Envasadora de Refresco 30g, é feito tendo como base o mapa de 52 semanas. Segundo Campos Júnior (2006), o mapa de 52 semanas consiste num plano anual que contempla todas as paradas ao longo do ano em todos os equipamentos da planta, este contendo qual a semana que cada maquinário estará em manutenção. Porem este plano não discrimina com que frequência serão realizadas atividades

específicas a este equipamento, mais somente quando o mesmo deverá parar para manutenção.

Para a elaboração do mapa, foram considerados todos os processos da planta fabril, onde os demais eram comparados a fatores específicos, cada qual com seu peso no processo. Após atribuído nota para cada quesito e efetuada a soma, todos os processos foram distribuídos em quatro níveis de criticidade sendo estes, A (Crítico), B (alto), C (Médio) e D (Baixo). Para cada nível foi atribuído uma estratégia de manutenção onde foram considerados fatores como custo, tempo de intervenção, consequência da parada do equipamento conforme pode ser visto na figura 12.

Figura 12: Estratégia de Manutenção para Elaboração Mapa de 52 Semanas

Definição das Estratégias de Manutenção Desidratados 2015				
Classes de	A	B	C	D
Criticidade	CRÍTICOS	ALTA	MÉDIO	BAIXO
ARACTERÍSTICA DA CLASSE	Necessidade de operar a plena carga devido a questões de produção ou segurança.	A falta do equipamento afeta diretamente o processo produtivo, podendo comprometer a	A falta do equipamento afeta diretamente o processo produtivo, podendo comprometer a	A falta do equipamento não traz consequências relevantes em caso de períodos de baixa.
ABORDAGEM	Confiabilidade Máxima	Disponibilidade máxima	Disponibilidade máxima	Custo Mínimo
ATIVIDADES	Execução de paradas programadas.	Execução de paradas programadas em partes críticas no menor tempo possível	Execução de Inspeções visuais de rotina.	Execução de Inspeções visuais de rotina.
	Execução de Inspeções visuais de rotina.	Execução de Inspeções visuais de rotina.	Acompanhamento Preditivo.	Lubrificação
	Acompanhamento Preditivo.	Acompanhamento Preditivo.	Lubrificação	
	Lubrificação	Lubrificação		
OBJETIVO	Inexistência de intervenções não programadas ou de emergência.	Inexistência de intervenções não programadas ou de emergência.	Certo nível de paradas não planejadas porém maior aporte de recursos caso for prioridade no período.	Mínimo de aporte de recursos da manutenção (pessoal, materiais e equipamentos), direcionando os esforços para os itens mais
MEIO AMBIENTE	Os equipamentos devem seguir as normas ambientais vigentes.			
SEGURANÇA	Os equipamentos devem conter meios de eliminação de riscos para atender as políticas de segurança da General Mills. As ordens de serviço de segurança deverão ser tratadas de forma prioritariamente.			
QUALIDADE	Os equipamentos devem garantir a política de qualidade (BPF, food Safety, Alergênicos) vigentes na empresa. Atendimento ao cliente, atendimento			
CONFIABILIDADE	Devido ao volume de produção elevado, poucos equipamentos do mesmo tipo e/ou maior importância na estratégia de	O equipamento é relevante ao processo, porém a confiabilidade estará condicionada ao custo adequado de monitoramento.	O equipamento é relevante ao processo, porém a confiabilidade estará condicionada ao custo adequado de monitoramento.	Devido ao baixo volume de produção maior quantidade de equipamentos do mesmo tipo e/ou menor importância do produto na

Fonte: Arquivos da Empresa

Na figura 13 pode ser visto os sistemas da embaladora e qual tipo de abordagem de manutenção será realizado para cada sistema.

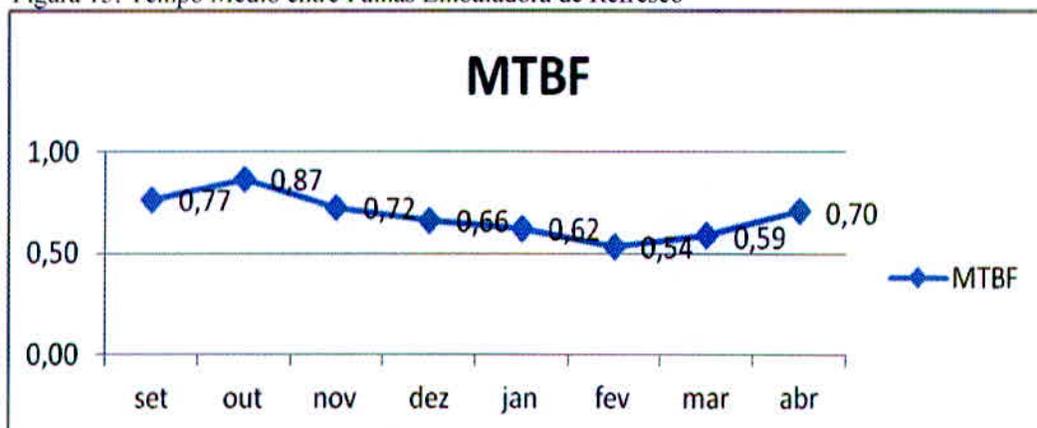
Figura 13: Plano de Manutenção Atual do Setor

PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA					
SETOR DESIDRATADOS					
DESCRIÇÃO					
TAG	MAQUINA	PROCESSO	NÍVEL DE PRIORIDADE	CONJUNTO	ABORDAGEM DO PLANO
EP27	ENVASADORA	ENVASE REFRESCO 30g	B	ALIMENTAÇÃO/DOSSAGEM	PREVENTIVA
EP27	ENVASADORA	ENVASE REFRESCO 30g	B	PUXADA	PREVENTIVA
EP27	ENVASADORA	ENVASE REFRESCO 30g	B	SELAGEM VERTICAL	INSPEÇÃO
EP27	ENVASADORA	ENVASE REFRESCO 30g	B	SELAGEM HORIZONTAL/DESBOBINADOR	PREVENTIVA
EP27	ENVASADORA	ENVASE REFRESCO 30g	B	ESTEIRAS	PREVENTIVA

Fonte: Arquivos da Empresa

Branco Filho (2006), diz que o Tempo Médio entre Falhas, representado por TMEF ou MTBF, consiste na média aritmética dos tempo entre o fim de uma falha e o início de outra falha, considerando apenas seu tempo de funcionamento. Este indicador tem por finalidade determinar as médias dos tempos de funcionamento de cada item ou sistema reparáveis, entre uma falha e outra, o MTBF do equipamento pode ser visto na figura 15.

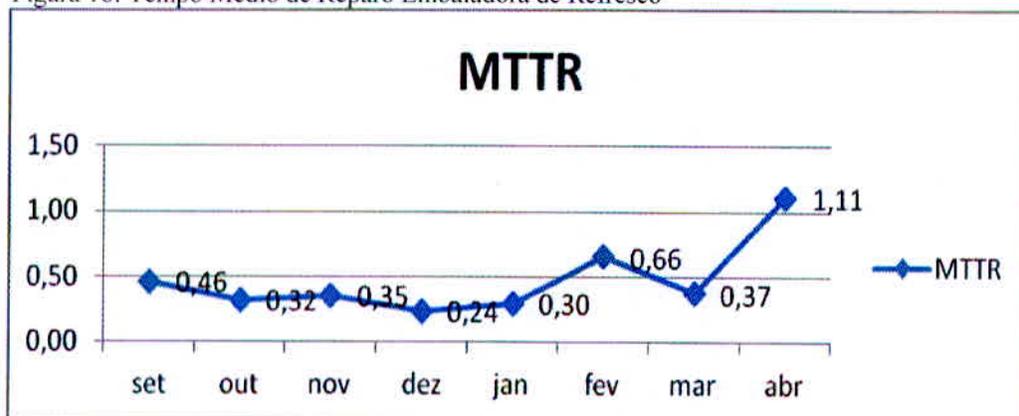
Figura 15: Tempo Médio entre Falhas Embaladora de Refresco



Fonte: Arquivos da Empresa

Ainda segundo o autor, o Tempo Médio de Reparo, representado por Tmpr ou MTTR, é a média aritmética dos tempo de reparo de um sistema de um equipamento ou de um item. Este tem a finalidade de apontar a média dos tempos que a equipe de manutenção leva para repor a máquina em condições de operar, dês da falha, até que a mesma esteja em condições operacionais novamente, o MTTR do equipamento pode ser visto na figura 16.

Figura 16: Tempo Médio de Reparo Embaladora de Refresco



Fonte: Arquivos da Empresa

A Disponibilidade, representada por DISP, é a probabilidade de um equipamento ou sistema estar disponível para uso (produzir) ou sendo usado (produzindo). Este indicador serve para indicar a probabilidade de uma máquina esteja disponível para produção indicando

que para um valor de 0,95 ou 95 por cento, indica que em média, a máquina está disponível para produzir em 95% do tempo (BRANCO FILHO, 2006 pg.64). A Disponibilidade do equipamento pode ser visto na figura 17.

Figura 17: Disponibilidade Embaladora de Refresco



Fonte: Arquivos da Empresa

A Disponibilidade, como descreve Branco Filho (2006), pode ser calculada determinando o MTBF e o MTTR e aplicando a equação:

$$DISP = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

2.7.1 Etapa 1 – Seleção do sistema e coleta de informação

A Embaladora Vertical Automática é uma máquina, conforme citado no início deste trabalho, composta por 10 Sistemas, Alimentação, Dosagem, Desbobinamento, Tracionamento de embalagem, Formação de pacotes, Selagem Vertical, Selagem Horizontal, Corte Vertical, Sistema Pneumático e Sistema Elétrico, com a finalidade principal de empacotar saches de Refresco de 30g. Esta máquina é alimentada pela parte superior, esta cotento um bocal interconectado ao piso superior a máquina. O produto é descarregado e entra no Sistema de Dosagem. No Sistema de dosagem, pás mexedoras fazem com que o produto seja empurrado para 3 roscas, que são acionadas por servo motores, e estão posicionadas verticalmente, cada rosca encaminha o produto até a parte inferior da máquina até antes do Sistema de Selagem Horizontal, onde deverá cair logo depois da selagem ser efetuada. Para selecionar os sistemas que deverão ser submetidos à análise da MCC, Siqueira (2014) sugere que se leve em conta sua significância para a segurança, disponibilidade e economia do processo.

Analisando os dados do gráfico da figura 15, verifica-se que o Tempo Médio entre Falhas oscila entre 0,74 e 0,61 e a Disponibilidade, apresentada pelo gráfico da figura 17, oscila entre 69% a 67% tendo picos 75%. De acordo com o histórico do período, os três maiores causadores de indisponibilidade do equipamento no período citado, foram ocorrências no Sistema de Selagem Horizontal, problemas estes relacionados por Pregas 54,8 (hs) e Vazamento 50,1 (hs), totalizando 104,9 (hs) de falhas no período estudado conforme pode ser visto na figura 18.

Figura 18: Falhas do Embaladora de Refresco



Fonte: Arquivos da Empresa

O Sistema que passará pela análise da MCC (Sistema de Selagem Horizontal), consiste basicamente num par de barras metálicas, de material aço AISI H13 com perfil estriado, dispostas uma contra outra. O material AISI H13 devido a sua composição química possui como características principais: elevada temperabilidade, elevada resistência ao amolecimento pelo calor, boa resistência ao desgaste a temperaturas elevadas, excelente tenacidade, boa usinabilidade, excelente resistência a choques térmicos devido ao aquecimento e resfriamento contínuos (GABARDO, 2008 pg. 17).

Estas barras possuem furos em toda a sua extensão que alojam resistências elétricas, estas resistências, possuem a finalidade de aquecer estas barras metálicas que quando entram em contato, fazem a Selagem da Embalagem de Refresco na linha Horizontal, por meio do derretimento da mesma. Esta selagem se faz necessária para evitar o vazamento de produto, evitar o contato de produto com micro-organismos externos e evitar que o produto pegue umidade causando empedramento dos grãos de açúcar. A movimentação dos mordentes é realizada por um Servo Motor, este acoplado ao subsistema de polia e correia dentada, para

garantir maior precisão no posicionamento do fechamento dos mordentes. O par de mordentes é suportado por placas de alumínio que são guiadas, em ambos os lados, por eixos e rolamentos lineares cuidando este subsistema, para que não ocorra desalinhamento dos mordentes na direção vertical.

O Sistema também é equipamento com um subsistema de resfriamento, este é constituído por placas que ficam localizadas logo acima dos mordentes, com o objetivo de soprar um jato de ar para efetuar o resfriamento da embalagem durante a solda, este processo é necessário para evitar vazamento de produto fortalecendo a solda.

Segundo Siqueira (2014), a Metodologia MCC faz uso de diversas ferramentas para a documentação e identificação do funcionamento dos sistemas, ficando sua escolha a critério do analista, conforme listadas abaixo:

- a) Formulários de documentação;
- b) Descrição Textual;
- c) Diagrama Esquemático;
- d) Diagrama de Blocos;
- e) Diagrama Organizacional;
- f) Diagrama Funcional;
- g) Diagrama Lógico Funcional;
- h) Descrição de Fronteira.

A figura 19 mostra o diagrama organizacional da Embaladora de Refresco, colocando em evidencia o Sistema de Selagem Horizontal.

Figura 19: Estrutura Organizacional Embaladora Vertical

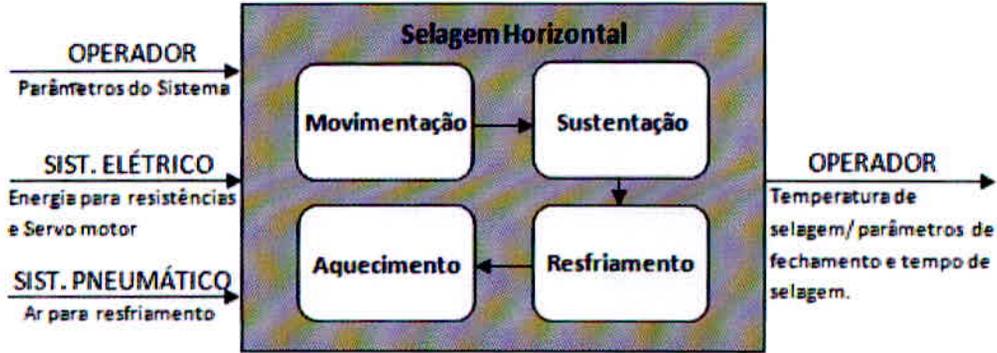


Fonte: O Autor.

No diagrama acima não foram inclusos os Sistemas Elétrico e Sistema Pneumático.

Para melhor visualização, na figura 20, é representado o Diagrama de Blocos do Sistema de Selagem Horizontal. Este contém todas as fronteiras do Sistema e os fluxos que passam por ela.

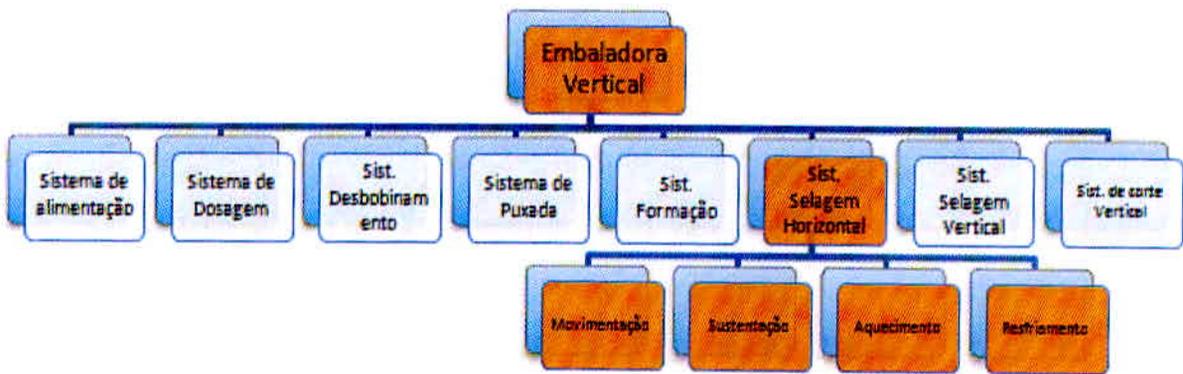
Figura 20: Diagrama de Bloco contendo os Fluxos, Fronteiras e Subsistemas



Fonte: O Autor.

O Sistema principal contém, conforme pode-se verificar no diagrama de blocos da figura 21, 4 Subsistemas sendo eles: Movimentação, Sustentação, Resfriamento e Aquecimento.

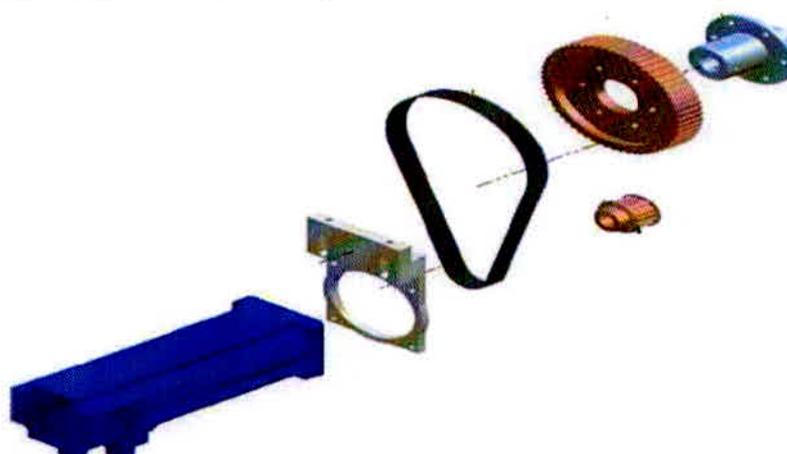
Figura 21: Estrutura Organizacional Sistema de Selagem Horizontal e Subsistemas



Fonte: O Autor

O Subsistema de Movimentação é o responsável pela movimentação necessária para o fechamento dos mordentes de selagem. Ele é composto por um Servo Motor, duas polias dentadas, sendo que uma das polias fica fixada na ponta do eixo de saída do Servo e a outra fica fixada no eixo que liga o Subsistema de movimentação ao Subsistema de Sustentação, e uma correia dentada que faz a transmissão do torque produzido pelo servo, seus componentes podem ser vistos através da figura 22.

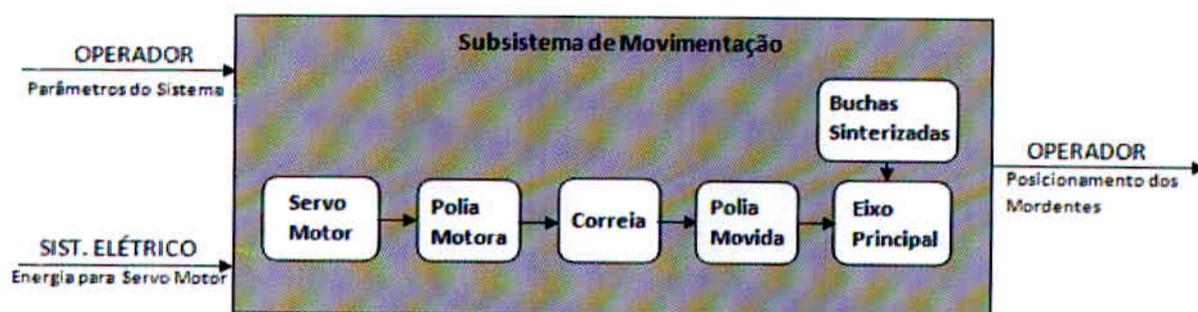
Figura 22: Subsistema de Movimentação



Fonte: Arquivos da empresa

No diagrama de blocos da figura 23, estão representados, as fronteiras, os fluxos e os componentes deste Subsistema.

Figura 23: Diagrama de Blocos Subsistema de Movimentação.

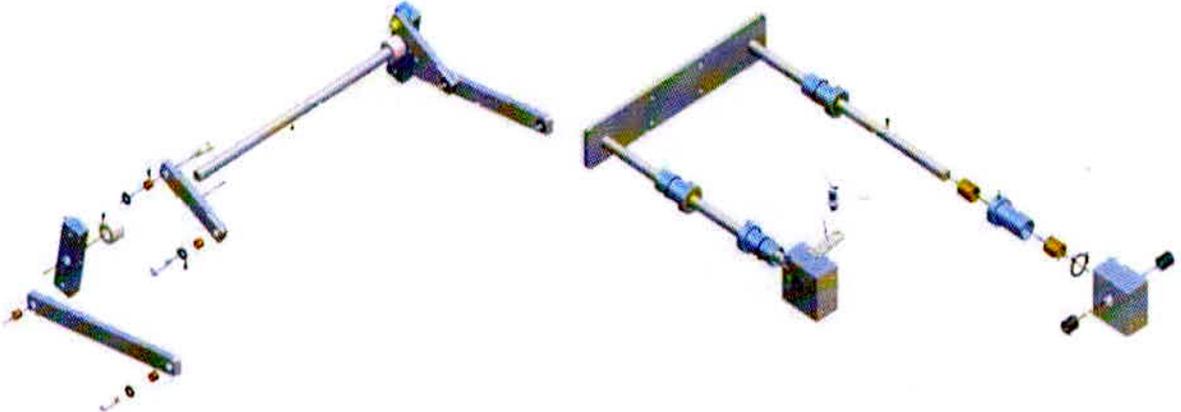


Fonte: O Autor.

O Subsistema de Sustentação faz o suporte do conjunto de placas e mordentes de selagem, ele se conecta ao sistema de movimentação, por meio de uma polia dentada esta por sua vez transmite o torque, proveniente do Servo motor, para movimentação do conjunto. Os mordentes são suportados por placas de alumínio fixadas a estas por meio de parafusos. As placas de alumínio possuem em suas extremidades, mancais com rolamentos lineares, sendo estes suportados por eixos, cada um em uma extremidade, funcionando como guias para permitir a movimentação de todo conjunto. Para garantir a abertura, dentro dos limites aceitáveis ao equipamento, as placas de alumínio são presas entre si por tirantes, também de material de alumínio, contendo rolamentos de rolos alojados em suas extremidades e parafusadas nas laterais por parafusos de material tratado termicamente. Para que não haja o contato entre o alumínio dos tirantes e o alumínio das placas de suporte, estes são separados por espaçadores de material UHMW. O Polietileno de Ultra-Alto peso Molecular (UHMW) é

um polímero de engenharia com propriedades excepcionais e muito particulares, tais como a resistência ao desgaste por abrasão e resistência ao impacto (NBR 14922, 2005 pg. V). Os componentes do subsistema podem ser visualizados na figura 24.

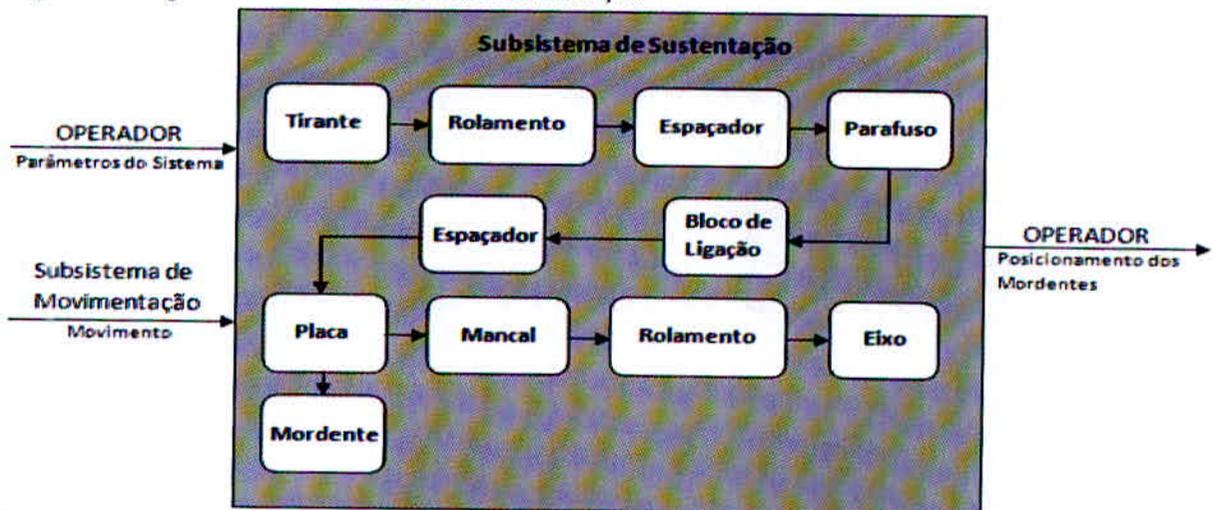
Figura 24: Subsistema de Sustentação



Fonte: Arquivos da Empresa.

No diagrama de blocos da figura 25, estão representados, as fronteiras, os fluxos e os componentes deste Subsistema.

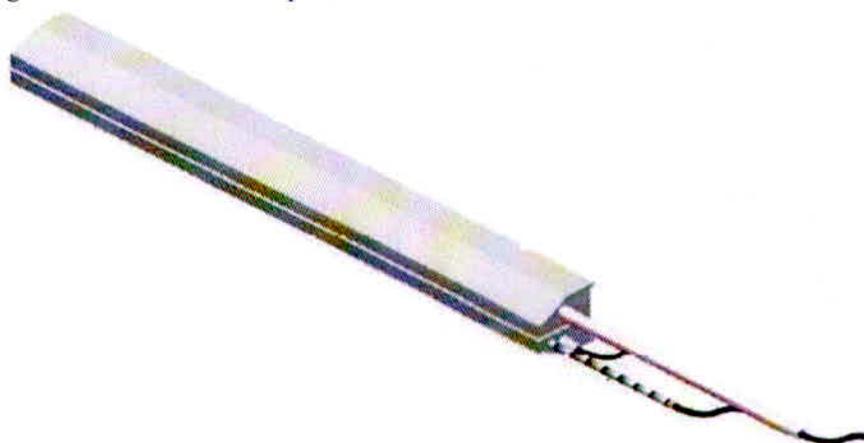
Figura 25: Diagrama de Blocos Subsistema de Sustentação



Fonte: O Autor.

O Subsistema de Aquecimento tem por finalidade, efetuar a energização do conjunto de resistências que, conforme já citado, ficam alojadas em furos feitos dentro dos mordentes de selagem, os componentes do subsistema podem ser vistos na figura 26.

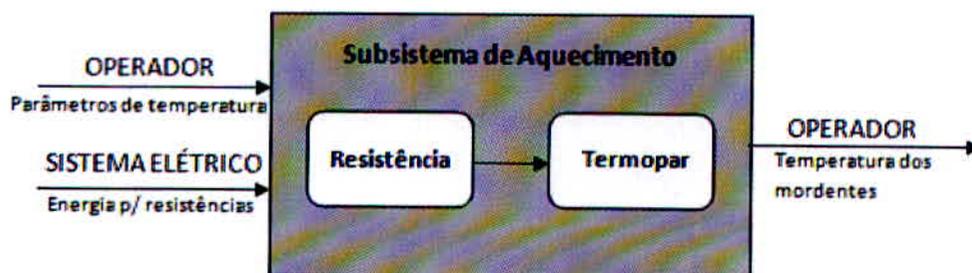
Figura 26: Subsistema de Aquecimento



Fonte: Arquivos da empresa.

No diagrama de blocos da figura 27, estão representados, as fronteiras, os fluxos e os componentes deste Subsistema.

Figura 27: Diagrama de Blocos Subsistema de Aquecimento



Fonte: O Autor.

O Subsistema de resfriamento consiste em uma tubulação transversal furada em toda a suas extensão fixada na parte superior dos mordentes, este tem a finalidade de resfriar a embalagem para a solda horizontal. Uma das extremidades desta tubulação, contem uma conexão pneumática a qual recebe o mangueiramento vindo do Sistema Pneumático. O ar, que é liberado de uma válvula direcional 5/2 vias, é enviado pelas mangueiras pneumáticas para a tubulação instalada sobre os mordentes e distribuído pela superfície dos pacotes resfriando-os.

Segundo o histórico de falhas do equipamento, falhas neste Subsistema nunca ocorreram por isso, o mesmo não será alvo do estudo da MCC, ficando este focado somente nos demais Subsistemas já analisados.

O Sistema e os Subsistemas que serão alvo da análise da MCC deverão seguir a próxima etapa da metodologia, que é a identificação das funções primárias e secundárias em

que cada componente exerce, bem como cada uma de suas falhas funcionais, estas que serão alvo das ações propostas pelo plano da MCC. O número de funções e falhas funcionais de cada subsistema pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1: Número de funções e falhas funcionais encontrados no sistema.

<i>Sistema ou Subsistema</i>	<i>Funções</i>	<i>Falhas Funcionais</i>
Movimentação	11	11
Sustentação	23	23
Aquecimento	3	3

Fonte: O autor

Com esta etapa, as questões 1 e 2 proposta pela metodologia foram respondidas.

2.7.2 Etapa 2 – Análise dos Modos e efeitos de Falhas (FMEA)

As funções, desempenhadas por cada componente, e suas falhas funcionais serão determinadas pela metodologia FMEA (Failure Modes and Effects Analysis), que é um método de análise de risco indutivo, que permite avaliar, a partir de um modo de falha, suas respectivas falhas e efeitos causados por estas, assim como os meios de detecção e prevenção dos modos de falha e mitigação dos seus efeitos (BRITO, 2014 pg.103).

Para a identificação das falhas, vários métodos foram empregados como, leitura de manuais do fabricante, histórico de falhas do equipamento e da experiência da equipe de manutenção e operação da empresa, com o intuito de avaliar: Quais as funções executadas por cada componente identificada no diagrama de blocos referente a cada Subsistema, quais as possíveis falhas funcionais referentes a cada função identificada, qual o efeito provocado por cada falha funcional e quais os modos de falha dos componentes.

De acordo com Siqueira (2014), um sistema raramente desempenha uma única função, ou seja, este segue geralmente uma hierarquia de funções que inclui sua finalidade original e as funções secundárias e auxiliares. Para cada função identificada no FMEA, podem existir uma ou mais falhas funcionais e cada falha funcional pode ocorrer devido a vários modos de falhas. Outro aspecto analisado no FMEA é o efeito que cada falha apresenta, de acordo com Moubray (1997) os efeitos descrevem o que acontece quando ocorre uma modo de falha. O estudo dos efeitos das falhas é muito importante já que, é por este, que é decidido

se o efeito traz risco de segurança ao operador, riscos ambientais e quais os impactos econômicos acarretarão caso a falha venha a ocorrer.

Mediante a estas informações, para cada modo de falha será atribuído um grau de risco. Para a formação do grau de risco serão dadas notas para os quesitos de Severidade, Frequência e Detecção e posteriormente será utilizada a equação:

$$\text{Risco} = \text{Severidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detectabilidade}$$

Ou seja, o nível do risco é proporcional à frequência com que os eventos ocorrem, ponderada pela severidade dos danos produzidos por cada evento sendo comum acrescentar nesta equação, uma ponderação adicional do risco em função da dificuldade em sua detecção (SIQUEIRA, 2014 pg. 99).

Os valores de risco podem ser verificados nos quadros 3, 4 e 5 contidas no anexo 4.

Por convenção foi efetuada uma divisão dos valores para priorização do grau de risco, sendo classificados em desprezíveis ($\text{Risco} < 50$), indesejáveis ($50 < \text{Risco} < 150$) e intoleráveis ($\text{Risco} > 150$). Os riscos podem ser vistos com mais detalhes na planilha de FMEA do apêndice. A quantidade de efeitos desprezíveis, indesejáveis e intoleráveis podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2: Classificação dos Modos de Falha.

<i>Sistema ou Subistema</i>	<i>Desprezíveis</i>	<i>Indesejáveis</i>	<i>Intoleráveis</i>
Movimentação	21	18	3
Sustentação	10	16	20
Aquecimento	0	8	0

Fonte: O Autor.

Após a divisão, seguindo a critério abordado, chegou-se num total de 42 modos de falha indesejáveis e 23 intoleráveis, estes serão foco de estudo das próximas etapas da MCC. Os modos de falhas desprezíveis, num total de 31, serão descartados.

Após esta etapa, as questões 3, 4 e 5 propostas pela MCC foram respondidas.

2.7.3 Etapa 3 – Análise das consequências das falhas

Após a etapa de realização do FMEA, é necessário avaliar a consequência das falhas dentro dos sistemas ou subsistemas. Dependendo da consequência que a falha possa acarretar, esta pode comprometer toda a instalação industrial interrompendo totalmente a produção, ou

pior nos casos em que a consequência de falhas possa trazer danos aos operadores ou aos consumidores. De acordo com Siqueira (2014), as consequências são analisadas na MCC pelos impactos dos efeitos dos modos de falha na operação do sistema, no meio ambiente, na segurança física e na economia do processo.

Para a tomada de decisão, foi utilizado um diagrama disponível por Siqueira (2014), que pode ser visto no anexo 1. Segue abaixo a Tabela 3 com a categorização de cada modo de falha em cada um dos subsistemas.

Tabela 3: Categorização das falhas.

<i>Sistema ou Subsistema</i>	<i>ESA</i>	<i>EEO</i>	<i>OEO</i>	<i>OSA</i>
Movimentação	0	7	4	0
Sustentação	0	13	9	0
Aquecimento	0	2	1	0

Fonte: O Autor.

Sendo ESA falha evidente segurança/ambiental, EEO falha evidente econômico/operacional, OEO falha oculta econômico/operacional e OSA falha oculta segurança/operacional.

Feita a categorização dos efeitos das falhas, ficou claro quais falhas deverão ter uma atenção diferenciada, pois se tratam de falhas ocultas. Nenhum dos efeitos analisados afeta a segurança do operador ou o ambiente, trazendo apenas prejuízos econômicos por danos a componentes e parada de produção. No subsistema de Movimentação os efeitos são, na sua maior parte, evidentes para o operador, dada pela perda da capacidade de movimentação dos mordentes. Já no subsistema de Sustentação, apesar dos efeitos também serem na maior parte evidentes, observa-se um índice de efeitos ocultos maior porém não havendo impactos a segurança do operador ou meio ambiente. E por ultimo, o subsistema de aquecimento apresentou maior índice de efeitos evidentes.

2.7.4 Etapa 4 – Seleção de tarefas aplicáveis e efetivas

Segundo Siqueira (2014), para que uma atividade de manutenção seja aplicável para prevenir um modo de falha, esta deve garantir um conjunto de requisitos de natureza técnica e de ordem prática sendo elas: prevenir modos de falha, reduzir a taxa de deterioração, detectar a evolução da falha, descobrir falhas ocultas, suprir necessidades de consumíveis do processo e reparar o item após a falha.

Ainda segundo o autor, para que uma atividade de manutenção seja efetiva, ela deve atender aos critérios de efetividade como ser aplicável tecnicamente, ser viável com os recursos disponíveis, produzir os resultados esperados e ser executável a um intervalo razoável.

Conforme levantamento feito anteriormente 65 modos de falha foram identificados, para seleção das tarefas aplicáveis e efetivas, estes modos de falha serão submetidos diagramas de decisão que levam em conta aos critérios citados anteriormente. Para a execução desta etapa serão utilizados os diagramas de decisão disponibilizados por Siqueira (2014) que podem ser vistos no anexo 2 e 3, cada diagrama leva em conta qual a visibilidade/consequência, referente a cada modo de falha, ou seja, se o modo de falha é evidente, ou oculto, se traz consequências à segurança do operador ou ao ambiente, ou se apenas traz perdas econômicas as instalações ou perdas de produção.

Segundo Siqueira (2014), a MCC sugere, para o processo de seleção, uma ordem de preferência dentro das atividades citadas a seguir: Serviço Operacional (SO), Inspeção Preditiva (IP), Restauração Preventiva (RP), Substituição Preventiva (SP), Inspeção funcional (IF), com um critério de escolha primeiramente para atividades obrigatórias (SO), determinadas na concepção do projeto, seguidas pelas atividades menos onerosas (IP), consideradas de baixo custo, pois não necessitam o desligamento da instalação, até as de maior custo como (RP) e (SP) que num primeiro momento indisponibilizam o equipamento, exigem um consumo de materiais para o reparo, ou a substituição por completo do item. Por ultimo na ordem de priorização das tarefas temos a inspeção funcional (IF), esta por que também torna o equipamento indisponível afetando diretamente a produção, e necessita recursos especializados culminando em custos elevados.

Analisando o histórico do equipamento, verificou-se que para o sistema em estudo (Selagem Horizontal) a maior consequência de falha observada foi o pregas e vazamento de produto na solda sendo esta maior causa de indisponibilidade para o equipamento. Este por sua vez pode ser oriundo de diversos motivos estes já verificados na tabela de FMEA disponível no apencie 1.

Para determinar os modos de falhas mais significativos a esta consequência, tendo em conta que o histórico do equipamento não fornecia informações detalhadas de quais componentes tinham maior taxa de falha, foram feitas análises junto à equipe de manutenção e operação em campo levando em conta a experiência do time com o equipamento. Dos 65 modos de falha, classificados como possíveis falhas potenciais, 11 foram selecionados como os maiores causadores de Pregas e Vazamento conforme podem ser vistos no Quadro 1.

Quadro 1 - Modos de Falha selecionados por análise funcional

<i>Subsistema</i>	<i>Componente</i>	<i>Modo de Falha</i>
Sustentação	Tirantes	Folga do alojamento dos Rolamentos por atrito
Sustentação	Parafusos de fixação das placas	Quebra da rosca de fixação do parafuso/sobrecarga
Sustentação	Rolamentos dos Tirantes	Rolamento travado por fadiga
Sustentação	Placa de sustentação dos mordentes	Furo de alojar batoque deformado por compressão
Sustentação	Batoques de apoio dos mordentes	Batoques deformados por Compressão ou queimados por alta temperatura
Sustentação	Rolamentos de movimentação	Rolamento travado por fadiga
Aquecimento	Mordentes	Estrias amassadas
Aquecimento	Resistência	Queimada por curto
Aquecimento	Termopar	Aberto

Fonte: O Autor

Como não era conhecido o modelo de confiabilidade de cada componente, a periodicidade de cada atividade foi determinada em conjunto com o histórico de manutenção destes componentes e a experiência da equipe de manutenção envolvida no reparo deste equipamento.

Para os Tirantes, Rolamentos dos Tirantes e Rolamentos de movimentação das placas, por estes serem submetidos a esforços de forma cíclica (quando a movimentação do conjunto de selagem para fechamento dos mordentes) isto caracteriza um Mecanismo de Desgaste por Fadiga que Segundo Siqueira (2014) ocorre quando há uma diminuição gradativa dos ciclos necessários para falha. Este padrão de desgaste de componentes pode ser visualizado pelo gráfico do padrão C onde há um aumento progressivo da probabilidade de falha.

No caso dos parafusos de fixação das placas, foi determinada a inspeção preditiva tendo como parâmetro a posição de fechamento dos mordentes. Este recurso é utilizado para que o equipamento busque a referencia e aplique uma ligeira pressão, propiciando o fechamento dos pacotes juntamente com a temperatura elevada do mordente (cerca de 160 °C). Foi acertado que um range aceitável de trabalho ficará entre 50 e 60, onde deverá ocorrer a troca dos parafusos caso o sistema passe a trabalhar com valores superiores a 60, este

parâmetro pode ser verificado na tela do IHM localizado na parte traseira do equipamento conforme pode ser visto na figura 28.

Figura 28: Parâmetro de posição de fechamento dos mordentes



Fonte: Arquivos da empresa

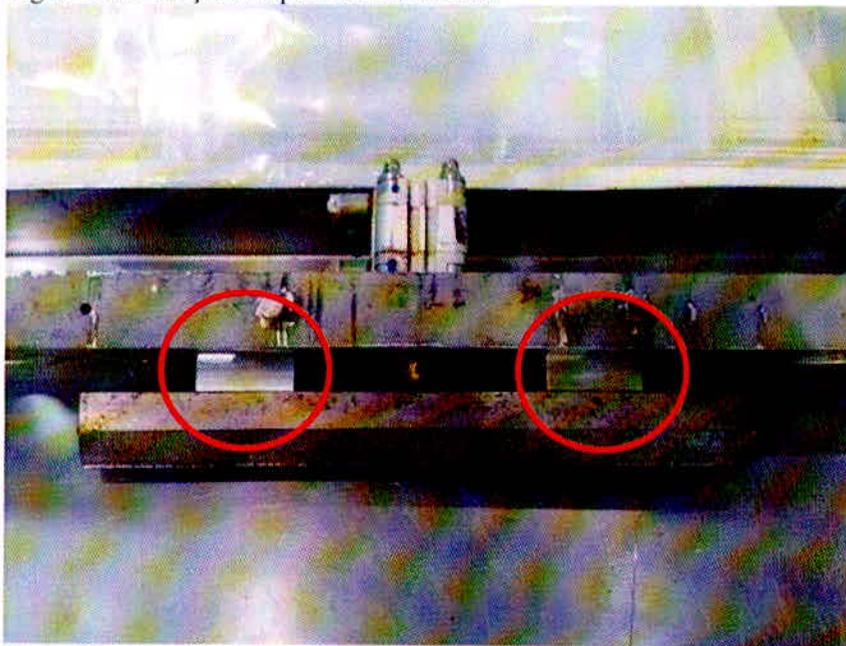
Os parafusos de fixação possuem mecanismo de falha por falha intempestiva que, Segundo Siqueira (2014) caracteriza-se por não haver, em componentes com este padrão de desgaste, vida útil definida. Este padrão de falha é representado pelo gráfico do padrão E onde há uma probabilidade de falha constante ao longo de toda a vida útil do componente, não sendo possível determinar a vida útil do mesmo.

Para os componentes, Placa de Sustentação dos Mordentes e Batoques de apoio dos Mordentes, devido ao alto risco de manutenção destes componentes, pela proximidade dos mesmos com os mordentes que trabalham com temperaturas na faixa de 160 °C foi decidido que estes passariam por uma atividade Default, com mudança de projeto. Os Batoques de apoio, devido ao seu material ser de Celeron, queimam com o decorrer do tempo, o Celeron é um material composto fabricado pela combinação de tecidos e algodão juntamente com resinas sintéticas que posteriormente passam por processo de laminação, sua temperatura máxima de trabalho é de 125 °C. (FENOTECH, disponível em http://www.fenotech.com.br/dados_tecnicos/celeron.pdf, acesso em 20/09/2015 as 11:06).

Como os Mordentes trabalham numa média de temperatura de 160 °C e os Batoques de Celeron resistem no máximo a temperaturas de 125 °C, havia uma incidência de troca

muito alta, estes itens foram substituídos por placas de material Aço Inoxidável 304 resolvendo o problema da queima dos batoques e aumentando a superfície de contato de apoio dos mordentes para fechamento. Esta alteração pode ser vista na figura 29.

Figura 29: Alteração do apoio dos mordentes.



Fonte: O autor.

Para os mordentes ficou definido que o operador deverá por meio de Serviço Operacional, verificar os pontos: Verificações da solda de fixação dos fechos se estão integras ou se existe algo que possa entrar em contato com os mordentes durante o fechamento e verificar se pacotes estão grudando nos mordentes exigindo maior quantidade de limpezas, os mordentes devem ser substituídos caso verificado necessidade. Limpeza geral do sistema eliminando o acúmulo de produto, deve-se desmontar as proteções superiores para retirada completa do produto e recoloca-las após término da atividade. Efetuar a lubrificação dos mancais dos rolamentos de apoio da placa.

Para as Resistências de aquecimento e termopares, como os mesmos apresentam padrão de desgaste progressivo, onde Segundo Siqueira (2014) ocorre uma diminuição gradativa da capacidade funcional ou resistência à falha, estes possuem padrão de desgaste representado pela Curva da Banheira, onde há um alto índice de falhas funcionais no início da vida útil do item (Mortalidade Infantil), com posterior estabilização da probabilidade de falha no meio da vida útil, passando no final por um período de aumento brusco da taxa de probabilidade de falha.

Para estes componentes, como não era conhecido o tempo de vida útil, foi determinado a atividade de Inspeção Funcional onde Técnico Eletrônica deverá avaliar as condições das conexões elétricas e cabeamento, bem como testar o funcionamento das resistências se as mesmas estão trabalhando na faixa de amperagem adequada e se os termopares estão efetuando a leitura correta da temperatura das resistências. Caso alguma anomalia for encontrada, reparos corretivos deverão ser efetuados, ou até mesmo a Substituição Preventiva dos itens garantindo a disponibilidade do equipamento.

Com esta etapa, as questões 6 e 7 proposta pela metodologia foram respondidas.

2.7.5 Etapa 5 – Definição da Periodicidade das Tarefas

Para determinação da periodicidade de manutenção de cada um dos componentes, como não havia a existência de dados estatísticos mais completos, foi utilizado à técnica proposta por Siqueira (2014) chamada de Exploração de Idade, este método de decisão é totalmente empírico de tentativa e erro onde é escolhido inicialmente um determinado intervalo de manutenção por um processo empírico qualquer (experiência, palpite). Na primeira manutenção do item utilizando o intervalo proposto, verificam-se os defeitos encontrados e níveis de degradação. Se os níveis de degradação forem reduzidos, aumenta-se o intervalo de manutenção em cerca de 10% ou mais. Este processo é repetido com todos os itens, até que se constate um nível de degradação suficiente para justificar a manutenção, este intervalo será o intervalo de manutenção recomendado. O intervalo de manutenção dos principais componentes citados na Tabela 04 foi determinado através do método acima.

Por fim as tarefas de manutenção definidas como o novo plano de manutenção para o equipamento, proposto pela MCC, podem ser visualizadas na Tabela 05 abaixo:

Quadro 02 - Plano de manutenção proposto pela MCC

<i>Intervenção</i>	<i>Tarefa</i>	<i>Periodicidade</i>	<i>Componentes</i>
SP	Substituição completa do tirante prevenindo assim a falha funcional causada pelo atrito do rolamento com seu alojamento. Substituição dos rolamentos dos tirantes e rolamentos das placas prevenindo o desgaste prematuro do eixo, dos tirantes e dos parafusos por atrito pelo travamento das esferas dos rolamentos.	Anual Semestral Semestral	Tirantes Rolamentos Tirantes Rolamentos Placa

IP	<p>Acompanhamento do parâmetro de auto ajuste dos mordentes, este responsável pela pressão exercida para selagem dos pacotes. A pressão de fechamento eleva-se com o passar do tempo (devido folga natural causada por desgaste do conjunto) pode-se verificar por meio deste parâmetro a maior tendência a falha funcional (quebra) dos parafusos.</p>	Semanal	Parafuso Fix. Placas
Default	<p>Batoques em Celeron serão substituídos por apoios retangulares em aço inoxidável instalados na face traseira dos mordentes. Estes propiciarão maior área de contato para melhor distribuição do impacto gerado pelo fechamento dos mordentes com isso não haverá a deformação dos batoques e nem do furo da placa de alojamento. Pelo material de construção dos batoques ser em Celeron (este resiste a aprox. 125 graus °C) e a temperatura dos mordentes atingem cerca de 160° estes apresentam uma queima acentuada em pouco tempo necessidade de troca. Riscos de queimadura para os manutentores para realização desta atividade pois os mordentes ficam em alta temperatura.</p>	Não aplicável	Placa de Sustentação
SO	<p>Verificação da solda de fixação dos fechos se estão integras ou se existe algo que possa entrar em contato com os mordentes durante o fechamento. Verificar se pacotes estão grudando nos mordentes exigindo maior quantidade de limpeza, os mordentes devem ser substituídos caso verificado necessidade. Limpeza geral do sistema eliminando o acúmulo de produto, deve-se desmontar as proteções superiores para retirada completa do produto e recoloca-las após término da atividade. Efetuar a lubrificação dos mancais dos rolamentos de apoio da placa.</p>	8 horas	Mordentes

IF	Avaliar as condições das conexões elétricas e cabeamento bem como testar o funcionamento das resistências se as mesmas estão trabalhando na faixa de amperagem adequada. Avaliar as condições das conexões elétricas e cabeamento bem como testar o funcionamento dos termopares se os mesmos estão efetuando a leitura correta da temperatura das resistências.	Mensal Mensal	Resistências Termopares
----	--	------------------	----------------------------

Fonte: O Autor

Com esta etapa, as questão 8 proposta pela metodologia foi respondida.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foram utilizados diversos livros referentes à área de manutenção industrial. Por meio destes, foi possível desenvolver a metodologia de pesquisa e obter os diagramas de decisão necessários para as tomadas de decisões em partes específicas do trabalho.

O manual do equipamento também foi utilizado, a fim de se obter informações técnicas, desenhos de componentes e esquemas mecânicos para análise do funcionamento dos sistemas e subsistemas, formação do diagrama organizacionais dos sistemas e subsistemas e definição dos componentes de cada sistema necessários para construção dos diagramas de blocos dos Sistema de Selagem Horizontal e Subsistemas de Movimentação, Sustentação e Aquecimento. Por meio do manual foi possível também, verificar a posição e as funções que cada componente desempenha.

Para confecção do FMEA, foram lidos diversos artigos científicos referentes ao assunto, este por fim proporcionou um grande desafio, pois sua formação é de extrema complexidade. Também, para o desenvolvimento do FMEA, foi necessária a experiência profissional da equipe de manutenção da empresa, esta foi crucial para responder certos questionamentos impostos pela metodologia da MCC.

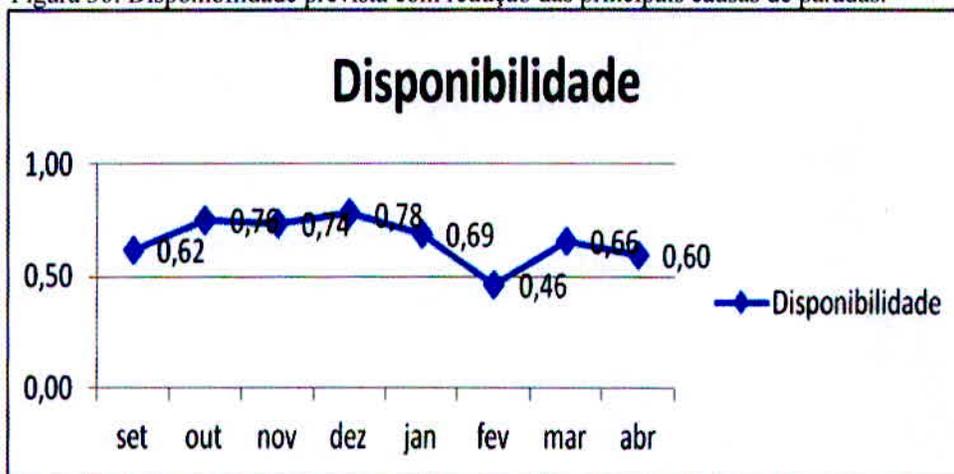
4 COMPARAÇÃO DO PLANO ATUAL COM O PROPOSTO PELA MCC

O sistema estudado foi o Sistema de Selagem Horizontal, ao qual é constituído pelos Subsistemas de Movimentação, Sustentação, Aquecimento e Resfriamento. O atual plano de manutenção segue um modelo de manutenção tradicional, ou seja, com o objetivo de manter o equipamento, o combate neste tipo de plano é basicamente a deteriorização dos componentes e não tendo uma análise das consequências das falhas dos mesmos. O atual plano também não possuía um detalhamento das ações, a fim de se preservar as funções, sendo assim troca de componentes desnecessários eram feitas por não haver uma análise prévia no modo que cada componente viria a falhar. Somente Check Lists eram executados durante intervalos pré-determinados, e manutenções eram planejadas e executadas tendo como foco as anomalias encontradas durante as inspeções.

Após a análise das funções do sistema, com o auxílio da ferramenta FMEA, pode-se verificar quais dos componentes traziam consequências relevantes ao processo, trazendo grandes paradas de produção. O plano proposto pela MCC, ao contrário do atual, tem o objetivo de manter as funções dos componentes principais, não havendo a necessidade de troca de todos os componentes como era feito anteriormente. Isto foi possível devido a metodologia estruturada da MCC esta por sua vez, possibilitou a priorização da manutenção pela função que cada componentes possui no sistema e qual a consequência que a falha funcional deste poderia trazer.

A média de disponibilidade medida no período de Setembro de 2014 a Abril de 2015, foi de 61%, tendo em conta os valores de MTBR e MTTR apresentados nas figuras 15 e 16. Estima-se uma ganho de 5% na média geral de Disponibilidade do equipamento no mesmo período, tendo em conta a redução dos principais causadores de paradas do equipamento (Pregas e Vazamentos) estes, sendo atacados pelas atividades do plano proposto, estes valores foram obtidos, desconsiderando tais paradas, removendo-as da planilha de apontamento de paradas e verificando os novos valores de Disponibilidade obtidos. Os valores estimados de Disponibilidade com a aplicação do plano podem ser vistos na figura 30.

Figura 30: Disponibilidade prevista com redução das principais causas de paradas.



Fonte: O Autor.

Demais componentes de importância secundária, porém com consequência de falha consideráveis deverão passar por análise posterior a fim de integrarem o plano proposto.

5 CONCLUSÃO

Com a aplicação da metodologia, foi possível verificar quais dos componentes tem maior importância para manter a função principal operando. Através do FMEA, ficaram claras as consequências das falhas funcionais de cada componente, com isso foi possível priorizar as ações e institucionaliza-las de forma a ter um plano consistente com justificativa para a manutenção. Pode-se aprender muito com o desenvolvimento deste trabalho, pois foi necessário, por diversas vezes, o apoio da equipe de manutenção e operação para responder diversas questões exigidas pela metodologia. Contudo a metodologia, apesar de mostrar quais as funções de cada componente e quais as consequências das falhas, é por muito trabalhosa e de um grau de complexidade elevado, a aplicação da mesma em todos os equipamentos e sistemas do complexo fabril, necessitará de uma grande quantidade de tempo e uma equipe focada e treinada para a implantação.

As tarefas de manutenção do plano proposto pela MCC foram definidas em conjunto, tendo como premissas os critérios de aplicabilidade e efetividade propostos pela mesma e tendo o auxílio dos diagramas e decisão disponíveis nos anexos 1, 2 e 3. O fato de não se ter dados estatísticos mais completos sobre os modos de falhas dos componentes e a empresa não possuir um software de análise da confiabilidade dos componentes, não permitiu uma análise mais refinada da periodicidade da manutenção (etapa 5 da metodologia) e definição do índice de ocorrência para formação do FMEA, não sendo possível a utilização de métodos mais precisos disponibilizados pela metodologia, sendo assim, ajustes ainda deverão ser feitos nos tempos de execução das atividades propostas.

Mesmo não sendo possível definir com precisão a etapa 5, foi possível realizar a análise crítica da função de cada componente tendo como resultado o que foi proposto pelo presente trabalho, que foi desenvolver um plano de manutenção objetivo e estruturado, sendo possível justificar tecnicamente as tarefas de manutenção, contudo é necessário maior desenvolvimento dos dados estatísticos coletados, expandindo os apontamentos de falhas também aos componentes.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14922**: Semi-acabados de UHMW – Requisitos e métodos de ensaio 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

BRITO, Jorge Nei. **PCM Planejamento e controle da manutenção**: foco nas principais ferramentas utilizadas para promover a qualidade. São Paulo: Plano T&D treinamento e desenvolvimento , 2014.

CAMPOS Júnior, Estevam Elpídio. **Reestruturação da área de planejamento, programação e controle na gerência de manutenção portuária CVRD** : São Luís, 2006.

DEHPAND, V. S.; MODAK, J. P. Application of RCM to a medium scale industry. **Reliability Engineering & Safety**, v. 77, n. 1, p. 31-43, 2002.

FENOTECH INDÚSTRIA E COMÉRCIA DE PLÁSTICOS LTDA. **Informativo Técnico do Material Celeron**: Diadema São Paulo, 2015. Disponível em <http://www.fenotech.com.br/dados_tecnicos/celeron.pdf>, acesso em 20 Set. 2015.

BRANCO FILHO, Gil. **Indicadores e Índices de Manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2006.

GABARDO, João Fredolim. **Estudo da Tenacidade do Aço Ferramenta H13**: Curitiba, 2008.

KARDEC, A, NACIF, J. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance**: 2. ed. New York: Industrial Press Inc. 1997.

PINTO, A. K., XAVIER, J. A. N. **Manutenção Função Estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**: Manual de Implementação.3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **PCM, Planejamento e Controle da Manutenção**. 5. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

APÊNDICE 1: Características do Equipamento

1.1 Características Gerais

Tensão de potencia: 220 V
Tensão de comando: 24 V
Pressão Pneumática de Trabalho: 6 bar
Capacidade de Produção: 2376 Kg/dia
Peso: 1500 Kg

1.2 Características Construtivas

Dimensões: Comprimento – 1300 mm
Largura – 1000 mm
Altura – 2300 mm

1.3 Sistemas integrantes

Sistema de Alimentação
Sistema de Dosagem
Sistema de Selagem vertical
Sistema de formação de Pacotes
Sistema de Selagem horizontal
Sistema de Desbobinamento
Sistema Pneumático
Sistema Elétrico (Potência e comando)

Fonte: (Manual do Equipamento)

APÊNDICE 2: Planilha de FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falhas).

FMEA (Sistema de selagem Horizontal)							
Item/ Função	Falha	Efeito	Modo de falha	Sev.	Ocor	Det.	Risco
Servo Motor							
Transmitir torque para fechamento dos mordentes.	Não transmite torque.	Não há a movimentação do conjunto para fechamento dos mordentes.	Mau contato das conexões dos cabos de alimentação e comunicação	4	1	2	9
			Servo drive queimado por corrente alta	4	2	6	52
			Mau contato dos cabos de alimentação e comunicação	4	1	5	22
			Quebra do acoplamento interno por sobrecarga	4	1	7	26
			Rolamentos travados por fadiga	5	3	7	105
			Bobina queimada por corrente alta	4	1	9	36
Transmitir torque para a abertura dos mordentes.	Não transmite torque.	Não há a movimentação do conjunto para abertura dos mordentes.	Mau contato das conexões dos cabos de alimentação e comunicação	4	1	5	22
			Servo drive queimado por corrente alta	4	2	6	52
			Mau contato dos cabos de alimentação e comunicação	4	1	5	22
			Quebra do acoplamento interno por sobrecarga	4	1	7	26
			Rolamentos travados por fadiga	5	3	7	105
			Bobina queimada por corrente alta	4	1	9	36
Fechar os mordentes na posição que atinja pressão de selagem	Não para na posição ideal para pressão de selagem	Não há pressão entre os mordentes OEO	Freio quebrado por sobrecarga	4	1	7	26
			Freio desgastado por fadiga	4	2	7	51
			Rolamentos travados	5	3	7	105
			Bobina com baixa isolamento	3	1	9	24
			Falha no cabo de comunicação	4	2	9	78
			Encoder danificado por fadiga	4	1	7	28
Sustentar polia motora no eixo de saída sem que haja	Folga do conjunto eixo/polia	-	Chaveta com folga por sobrecarga	4	4	7	112

folga							
			Rasgo de chaveta do eixo com folga por sobrecarga	5	5	4	93
			Parafuso de fixação da polia no eixo solto	2	3	4	24
			Folga no canal de chaveta da polia por sobrecarga	4	4	7	121
			Folga no furo da polia	4	2	3	24
Polia Motora							
Transmitir torque para correia com precisão	Não transmite torque preciso	Mordentes não param na posição correta OEO	Chaveta com folga por sobrecarga	4	4	7	112
			Folga no canal de chaveta da polia por sobrecarga	4	4	7	121
			Folga no furo da polia	4	2	3	24
			Desgaste dos dentes	4	2	7	56
Guiar correia	Não guia correia	Não há a movimentação do conjunto para abertura dos mordentes EEO	Flange da polia quebrada	4	1	3	11
Correia							
Transmitir torque para polia movida	Não transmite torque	Mordentes não se movimentam EEO	Rompimento da correia por fadiga	5	7	7	229
			Desalinhamento da correia	3	2	3	16
Polia Movida							
Transmitir torque para o eixo principal do subsistema de sustentação com precisão	Não transmite torque preciso	Mordentes não param na posição correta	Folga no furo da polia	3	1	3	10
			Desgaste dos dentes por atrito	3	2	7	47
			Folga do pino conico por fadiga	3	1	7	23
			Quebra do pino conico por fadiga	3	2	8	48
Eixo principal							
Transmitir torque para subsistema	Não transmite torque	Mordentes não se movimentam EEO	Desgaste das buchas	5	8	8	341

de sustentação com precisão							
			Cisalhamento do eixo	5	1	7	35
			Folga do furo de pino conico	4	2	7	61
Sustentar polia movida sem folga	Folga do conjunto eixo/polia	Variação da posição de fechamento dos mordentes OEO	Folga no furo do pino conico	4	2	7	61
			Folga do furo do cubo da polia	4	1	7	26
			Quebra do pino conico	3	2	8	48
Buchas sinterizadas							
Apoiar eixo principal permitindo seu movimento giratório preciso	Eixo não gira/Eixo gira travando	Variação da posição de fechamento dos mordentes EEO	Desgaste das buchas	5	8	8	341
			Quebra das buchas	5	2	8	75
Sustentação							
Tirantes							
Fixar placas de aluminio de suporte dos mordentes sem folga	Folga na fixação das placas	Variação da selagem OEO	Folga do alojamento dos Rolamentos	5	8	8	320
			Desgaste dos espaçadores por atrito	5	7	8	280
Permitir a movimentação das placas de aluminio com precisão	Tirante não articula	Variação da posição de fechamento dos mordentes EEO	Rolamentos travados por fadiga	5	8	8	299
			Parafusos desgastados por atrito	4	8	8	277
Rolamento							
Permitir a articulação dos tirantes	Tirante não articula	Variação da selagem EEO	Rolamento travado por fadiga	5	9	8	336

			Rolamento faltando rolo	5	9	8	336
Espaçador 1							
Evitar atrito entre os tirantes e as placas de alumínio	Atrito entre as placas	Variação da selagem OEO	desgaste dos espaçador por atrito	5	7	8	280
Evitar deslocamento axial do tirante	Permite deslocamento	Variação da selagem podendo haver vazamentos OEO de produto	desgaste dos espaçador por atrito	5	7	8	280
Parafuso							
Alojar o rolamento garantindo uma superfície regular para seu giro.	Superfície irregular não permite giro livre	Maior esforço para articulação dos tirantes OEO	Sulcos e ranhuras na superfície da pista	4	7	8	243
			Quebra da rosca de fixação do parafuso/sobrecarga	5	5	9	225
Fixar os tirantes as placas de alumínio e ao bloco de ligação	Não fixa tirantes	Sem movimentação dos mordentes EEO	Quebra da rosca de fixação do parafuso/sobrecarga	5	5	9	225
			Rosca do parafuso espanada	4	3	8	88
Bloco de ligação							
Alojar rosca para fixação dos parafusos sem folga	Não fixa o parafuso sem folga	Mordentes não se movimentam EEO	Furação espanada	5	2	7	70
Transmitir o torque aplicado no eixo principal para a articulação dos tirantes	Não transmite torque preciso	Mordentes não fecham/Mordentes não abrem na posição correta EEO	Folga na furação de fixação no eixo	4	1	7	30

com precisão							
			Furação espanada	5	2	7	70
			Pino conico quebrado	5	2	8	85
Espaçador 2							
Apoiar bloco de ligação para que este não tenha movimento axial	Permite movimento do bloco de ligação axialmente	Variação da selagem podendo haver vazamento de produto OEO	Desgaste lateral por atrito	4	2	4	29
			Folga da furação por atrito	3	2	4	27
Placa							
Sustentar mordentes na posição de fechamento	Não sustenta mordentes na posição correta	Mordentes desalinhados variação da selagem EEO	Parafuso de fixação quebrado por sobrecarga	5	5	9	225
			Parafuso com rosca espanada	5	3	8	112
Alojar mancais dos rolamentos lineares sem folga	Folga do furo de alojamento do mancal na placa	Variação na selagem OEO	Parafuso de fixação quebrado por sobrecarga	5	2	9	90
			Rosca de fixação espanada	5	2	8	75
			Furo de alojar mancal com folga	4	4	3	44
Fixar tirantes	Não fixa tirantes	Mordentes não movimentam EEO	Rosca de fixação espanada	5	3	7	98
Sustentar cilindro da faca	Não sustenta cilindro	Pacotes juntos EEO	Rosca de fixação espanada	5	3	7	98
Alinhar mordentes permitindo encaixe dos frisos para solda	Não alinha mordentes	Mordentes desalinhados EEO	Batoques deformados por Compressão	5	8	7	299
			Batoques queimados	5	8	7	299
			Furo de alojar batoque deformado por compressão	6	5	7	198

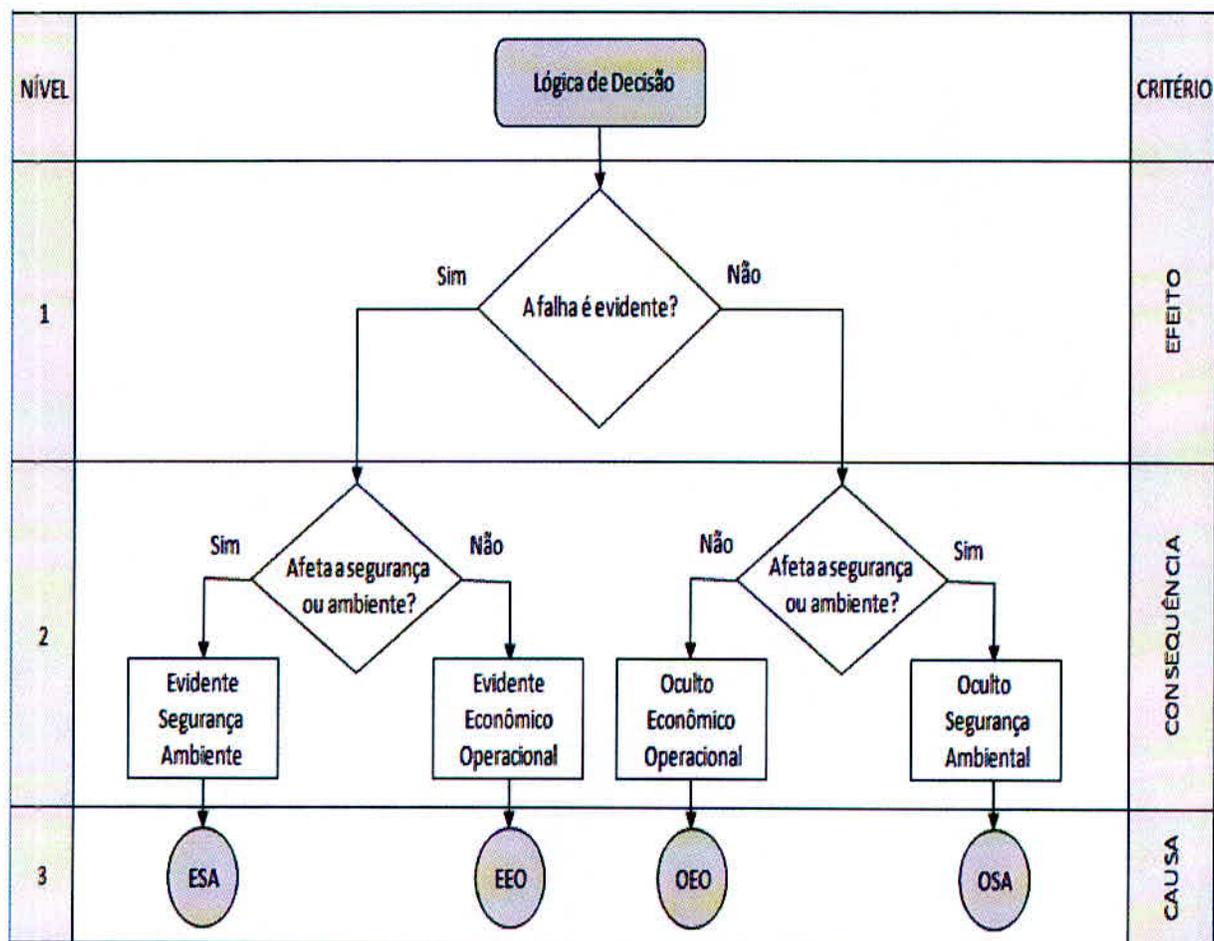
Mancal							
Sustentar placa sem folga	Folga no mancal/placa	Mordentes desalinhados EEO	Desgaste externo do mancal por atrito	3	4	3	40
Alojar rolamento sem folga	Folga no alojamento	Falha no posicionamento dos mordentes EEO	Desgaste interno do mancal por atrito	5	5	7	163
Rolamento							
Permitir a movimentação do Subistema de Sustentação livremente garantindo a precisão de fechamento	Não movimentação livremente com precisão	Variação da posição de fechamento dos mordentes OEO	Desgaste das esferas por fadiga	6	8	8	363
			Perca das esferas	6	8	8	384
Eixo							
Guiar rolamento permitindo seu deslocamento livremente sem folga	Não permite deslocamento/Folga	Variação da posição de fechamento dos mordentes OEO	Engripamento	6	6	3	108
			Ranhuras	6	7	3	119
			Furo de fixação espanado	5	1	7	35
Aquecimento							
Mordente							
Selar embalagem por meio do seu aquecimento	Não sela embalagem	Falha de selagem EEO	Queima da resistencia por curto no cabo	7	10	2	140
			Queima do termopar	5	5	5	133
			Estrias amassadas	4	8	4	139
			Furo de fixação espanado	5	4	4	75

			Desgaste do tratamento térmico	4	7	3	77
Alojar resistencias de aquecimento não permitindo sua movimentação	Permite movimento da resistencia	Variação da selagem dos pacotes por não distribuição uniforme do calor da resistencia OEO	Folga no furo de alojamento	3	2	7	42
			Furo de fixação transversal espanado	2	3	4	24
Alojar termopar não permitindo sua movimentação	Permite o movimento do termopar	Variação de temperatura dos mordentes. EEO	Folga no furo de alojamento	3	2	7	42
			Furo de fixação transversal espanado	2	3	4	24
Alojar faca de corte permitindo seu movimento de avanço	Não permite a movimentação da faca	Não ocorre o corte dos pacotes na horizontal EEO	Excesso de produto no canal da faca	5	9	6	288
			Desalinhamento do mordente	5	9	4	168
Resistencia							
Aquecer o mordente na temperatura adequada para selagem	Não aquece na temperatura ideal	Variação na selagem EEO	Queima da resistencia por curto no cabo	7	10	2	140
			Rompimento do cabo de alimentação por fadiga	7	7	3	147
			Curto no sindal conector	6	3	4	76
			Curto do fusivel	4	2	7	61
			Queima do relé de estado sólido	5	2	8	75
Termopar							
Medir a temperatura do mordente	Não mede Temperatura	Variação de temperatura EEO	Termopar aberto	5	4	7	131
Informar o CLP a temperatura real	Não Informa CLP	Variação de temperatura OEO	Termopar aberto	5	4	7	131

			Rompimento do cabo por fadiga	5	5	3	70
--	--	--	-------------------------------	---	---	---	----

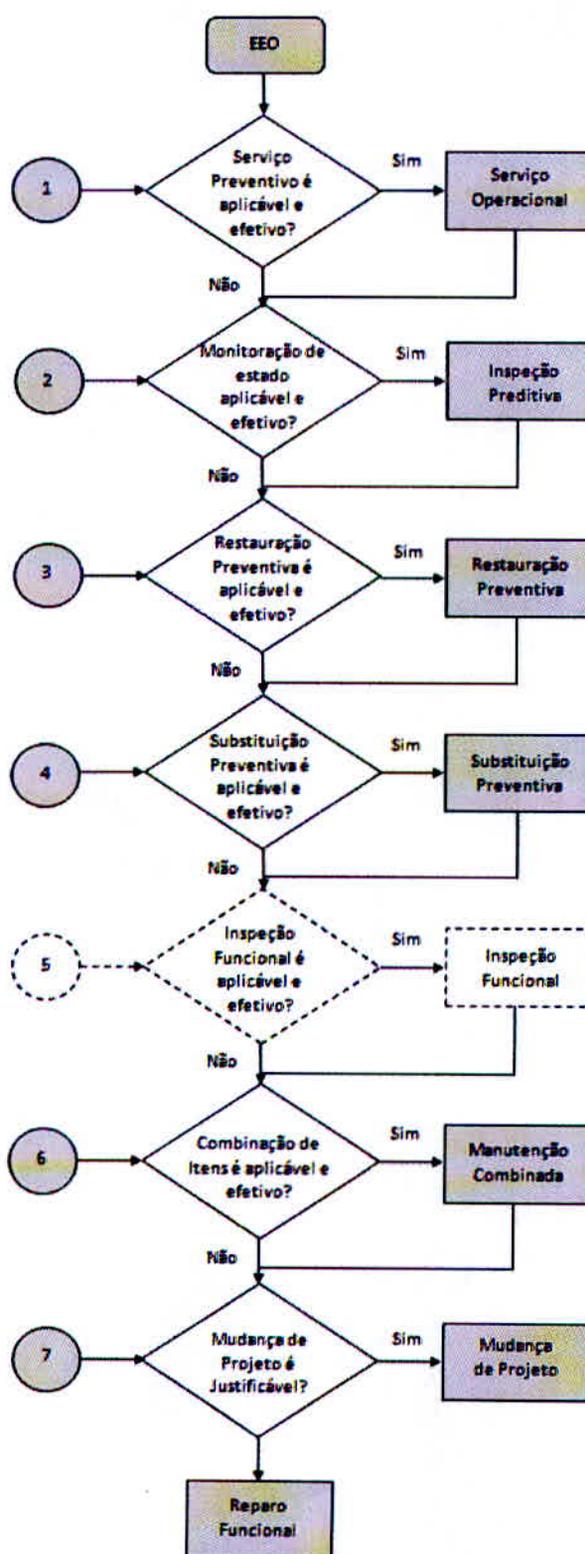
Fonte: O Autor

ANEXO 1: Diagrama Lógico de Decisão e Categorização do Efeito.

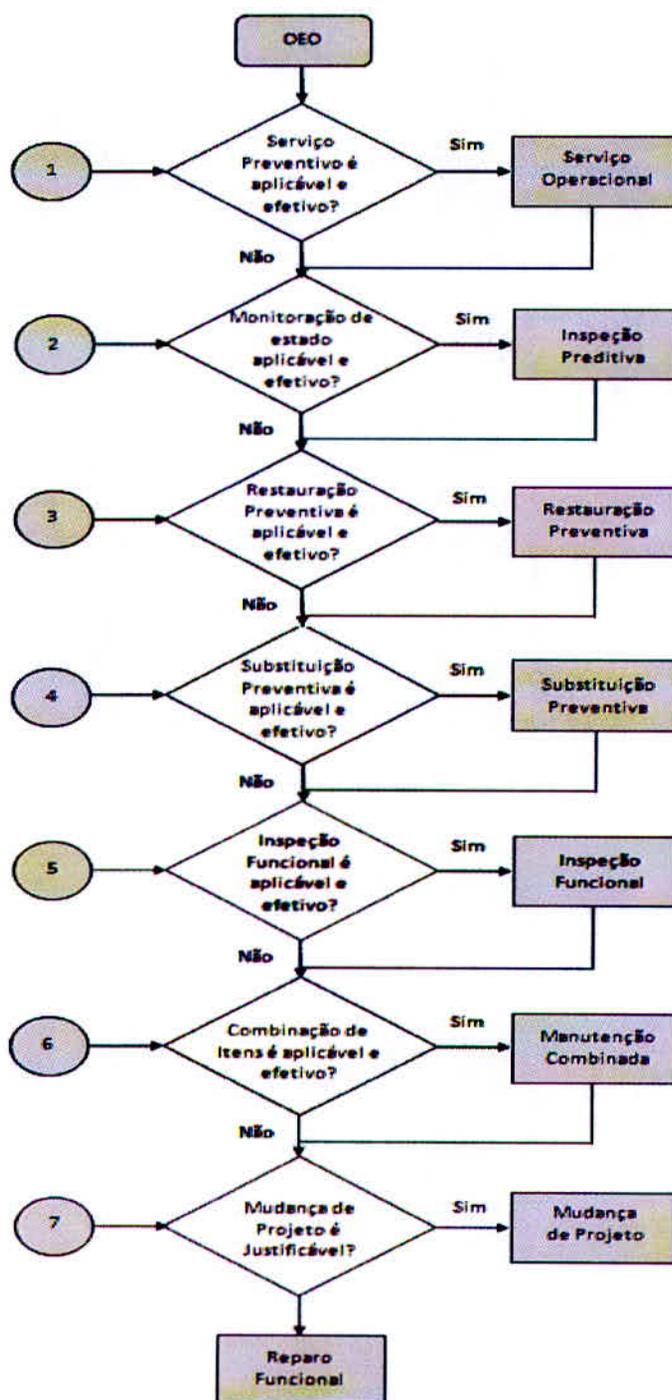


Fonte: (SIQUEIRA, 2014 pg.115)

ANEXO 2 : Diagrama Lógico de Decisão (Falha Evidente Econômica Operacional) para determinação das tarefas de manutenção.



ANEXO 3: Diagrama Lógico de Decisão (Falha Oculta Econômica Operacional) para determinação das tarefas de manutenção.



Fonte: (SIQUEIRA, 2014 pg. 179).

ANEXO 4: Quadros 3, 4 e 5 para determinação de índices de Severidade, Ocorrência e Detecção para formação do FMEA.

Quadro 3 - Índice de severidade

Índice de Severidade	Efeito
10	Perigoso e sem aviso prévio
9	Perigoso e com aviso prévio
8	Muito alto
7	Alto
6	Moderado
5	Baixo
4	Muito Baixo
3	Menor
2	Muito Menor
1	Nenhum

Fonte: (Brito, 2014, pg 108)

Quadro 4 – Índices de Frequência

Incidência de Frequência	Probabilidade	Taxa de Falha
10	Muito Alta	≥ 100 por 1000 peças
9	(Falhas Persistentes)	≥ 50 por 1000 peças
8	Alta	≥ 20 por 1000 peças
7	(Falhas Frequentes)	≥ 10 por 1000 peças
6	Moderadas	≥ 5 por 1000 peças
5	(Falhas Ocasionais)	≥ 2 por 1000 peças
4		≥ 1 por 1000 peças
3	Baixa	$\geq 0,5$ por 1000 peças
2	(Poucas Falhas)	$\geq 0,1$ por 1000 peças
1	Remota (Falha Improvável)	$\geq 0,01$ por 1000 peças

Fonte: (Brito, 2014, pg 108)

Quadro 5 – Índice de Detecção

Índice de Detecção	Detecção
10	Absoluta
9	Muito Remota
8	Remota
7	Muito Baixa
6	Baixa
5	Moderada
4	Moderadamente Alta
3	Alta
2	Muito alta
1	Quase Certamente

Fonte: (Brito, 2014, pg 109)