

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UM PLANO DE MANUTENÇÃO DE UMA CAPSULADORA DE GARRAFAS EM UMA
VINÍCOLA

por

Matheus Eduardo Serro de Bastos

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, dezembro de 2019

Matheus Eduardo Serro de Bastos

Um plano de manutenção de uma capsuladora de garrafas em uma vinícola

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mario Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Edson Aseka
Prof Rodrigo Rossi
Prof Juan Pablo Raggio Quintas

Porto Alegre, dezembro de 2019

CIP - Catalogação na Publicação

Bastos, Matheus Eduardo Serro de
UM PLANO DE MANUTENÇÃO DE UMA CAPSULADORA DE
GARRAFAS EM UMA VINÍCOLA / Matheus Eduardo Serro de
Bastos. -- 2019.
26 f.
Orientador: Juan Pablo Raggio Quintas.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2019.

1. Manutenção Industrial. 2. Distribuição de
Weibull. 3. Análise de Modos e Efeitos de Falha
(FMEA). 4. Manutenção Centrada em Confiabilidade
(MCC). I. Quintas, Juan Pablo Raggio, orient. II.
Titulo.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Bastos, M. E. S . **Um plano de manutenção de uma capsuladora de garrafas em uma vinícola.** 2019. 25 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019

RESUMO

As indústrias, de modo geral, tem mudado os planos de manutenção adotando estratégias que diminuam o tempo de manutenção futuro. Busca-se aumentar a confiabilidade e a disponibilidade de todos os equipamentos para que os custos de tempos ociosos de produção diminuam. O presente trabalho dedica-se ao estudo da aplicação da análise de modos e efeitos de falha (FMEA) e da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) e, com isso, desenvolver um plano de manutenção baseado em tratamentos estatístico de dados utilizando a análise de Weibull em uma máquina responsável pela aplicação de cápsulas em garrafas de espumante em uma vinícola.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Industrial, Distribuição de Weibull, Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

Bastos, M. E. S . **A capsuling machine maintenance plan in a winery.** 2019. 25 páginas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019

ABSTRACT

Industries, generally speaking, have been changing maintenance plans adopting strategies that decrease future maintenance times. The aim is to increase the reliability and availability of all equipment to reduce downtime costs. The present work is dedicated to the study of the application of failure mode and effect analysis (FMEA) and reliability centered maintenance (MCC) and, with this, develop a maintenance plan based on statistical treatment of data using Weibull analysis on a machine that applies capsules to sparkling wine bottles in a winery.

KEY WORDS: Industrial Maintenance, Weibull Distribution, Failure Modes and Effects Analysis (FMEA), Reliability Centered Maintenance (RCM)

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	1
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	1
3.1 Tipos de manutenção	1
3.1.1 Manutenção Corretiva	2
3.1.2 Manutenção Preventiva	2
3.1.3 Manutenção Preditiva	2
3.2 Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)	2
3.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)	3
3.4 Distribuição de Weibull aplicada na MCC	4
4. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	5
4.1 Escolha do equipamento	5
4.2 Capsuladora Robino & galandrino ZENITH F 3/18 OTTICO	5
4.2.1 O sistema alimentador de cápsulas	5
4.2.2 Sistema posicionador de cápsulas	6
4.2.3 Sistema de dobragem (plissagem) de cápsulas	7
4.2.5 Sistema de movimentação de garrafas	8
4.3 Análise de funções e falhas funcionais	9
4.4 Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA)	10
4.5 Análise das consequências de falhas	12
4.6 Análise de Weibull na MCC	12
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	14
6. CONCLUSÕES	15
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
ANEXOS	17
APÊNDICES	18

1. INTRODUÇÃO

A gestão da manutenção passou por diversas mudanças ao longo do tempo, sempre acompanhando as necessidades e as mudanças de perfil do mercado.

Segundo Siqueira, 2005, pode-se dividir a história da manutenção em três gerações. Inicialmente se utilizava basicamente o conceito de manutenção corretiva, não existia o planejamento da manutenção. Esta foi a geração da mecanização.

A geração seguinte, da industrialização, visava maior disponibilidade de equipamentos e maior vida útil a baixo custo. A manutenção preventiva e a manutenção preditiva foram desenvolvidas a fundo neste período.

A terceira geração surgiu de uma evolução natural destes conceitos. O foco passou a ser a melhor qualidade e garantia de desempenho dos produtos, exigido pela sociedade. Junto a isso, questões ambientais e também de segurança, tanto para processos quanto para pessoas, motivaram o surgimento da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

Fogliatto et al, 2009, define a MCC como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas. Os programas de MCC têm sido reconhecidos como uma das formas mais eficientes de tratar as questões de manutenção devido a sua abordagem racional e sistemática. A disponibilidade e confiabilidade crescentes de equipamentos e custos reduzidos ligados a reparos, substituições, defeitos e acidentes permitem a excelência na manutenção dentro de uma empresa.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é elaborar e um plano de manutenção que diminua os tempos de paradas não programadas no equipamento capsulador. O método da MCC (manutenção centrada em confiabilidade), aliado com FMEA (análise de modo e efeito de falha) e análise estatística de Weibull tem a função de indicar os passos a serem seguidos para chegar no modo de manutenção mais efetivo em cada situação.

A MCC será aplicada no equipamento capsulador Zenith F 3/18 Ottico, da fabricante italiana Robino & Galandrino. O equipamento está instalado na linha de engarrafamento e rotulagem em uma vinícola na cidade de Garibaldi, Rio Grande do Sul. É uma máquina responsável pela colocação, posicionamento, prensagem, dobra e alisamento das cápsulas em garrafas de espumante.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Tipos de manutenção

De acordo com o tipo de procedimento, ocasião e objetivo, a manutenção pode ser dividida em grandes grupos.

3.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é realizada em situações onde o equipamento não realiza a sua função plenamente, o que pode ser percebido com a variação negativa de parâmetros de controle de processo, e também com a ocorrência de falha, ou seja, o equipamento não desempenha sua função.

Para ser classificada como corretiva, uma manutenção possui como objetivo a restauração de condições de operação. Dentro desta classificação ainda pode-se dividir a manutenção corretiva em programada e não programada. A manutenção corretiva não programada, também chamada de emergencial, acarreta em tempos e custos maiores devido a falta de planejamento, assim como a qualidade do serviço realizado tende a ser menor. A elevada ocorrência deste modo de manutenção pode servir como um indicador de que a equipe de manutenção não está sendo eficiente.

3.1.2 Manutenção Preventiva

Ao contrário da manutenção corretiva, a manutenção preventiva visa evitar que a falha ou a degradação de um serviço prestado ocorra, mantendo o equipamento em condições de funcionamento. Idealmente, esse tipo de serviço é previsto, preparado e programado para acontecer antes da provável falha ocorrer. As atividades envolvidas são de inspecionar, reformar e/ou trocar peças.

A manutenção preventiva é indicada principalmente em casos onde há riscos de segurança pessoal e ambiental e também em casos de operação contínua.

Com a manutenção preventiva é possível gerenciar e planejar atividades para gerar o menor impacto possível nos indicadores de produtividade. Se o equipamento possuir uma degradação conhecida, este tipo de manutenção torna-se extremamente eficaz.

3.1.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é também conhecida como manutenção de condição e se refere a um estudo e acompanhamento dos parâmetros associados ao funcionamento e desempenho da máquina.

São analisadas variáveis como vibrações, ruídos e temperatura através de medições periódicas ou acompanhamento contínuo. Quando estas fogem da normalidade a manutenção é realizada. Uma vantagem deste tipo de manutenção sobre as outras é a não necessidade de saber os tempos de degradação de componentes.

3.2 Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)

FMEA é uma forma de identificar as possíveis falhas, seus efeitos sobre o sistema, a probabilidade de ocorrência e a probabilidade de que a falha passe despercebida, tendo como objetivo orientar a aplicação dos recursos para as oportunidades mais vantajosas. Um estudo FMEA envolve a identificação de aspectos como função (objetivo), falha funcional (perda ou desvio da função), modo de falha (o que falha), causa da falha (o porquê de ocorrer a falha), efeito da falha (impacto resultante na função principal) e consequências da falha (severidade do efeito).

Para Siqueira, 2005, a FMEA, para ser efetiva, deve ser constantemente atualizada, devendo ser aplicada em todas as novas aquisições de equipamentos, após cada modificação em um sistema existente e a todos os itens operacionais submetidos ao processo MCC. Cada ocorrência de falha deve desencadear um processo de verificação e possível revisão do estudo FMEA correspondente.

3.3 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

A manutenção centrada em confiabilidade busca responder sete perguntas segundo Moubrey, 2003:

- a. Quais são as funções e padrões de desempenho de um item no seu contexto presente de operação?
- b. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- c. O que causa cada falha funcional?
- d. O que acontece quando ocorre cada falha?
- e. De que forma cada falha importa?
- f. O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- g. O que deve ser feito se não for encontrado uma tarefa pró-ativa apropriada?

De um modo geral, a MCC procura determinar qual é o tipo de manutenção ideal para manter o sistema sem falhas e funcionando pelo maior tempo possível.

A figura 3.1, apresentada por Lafraia, 2001, detalha todas as etapas possíveis para a aplicação da MCC:

Figura 3.1 : Etapas da aplicação de MCC

Requisitos Operacionais	Análise Funcional	Elaborar FMEA	Diagrama de Decisões	Programa de Manutenção
Montar equipe de análise	Identificar funções	Definir os modos de falhas	Aplicar diagrama de decisões	Comparar com atividades existentes
Identificar dados	Definir funções	Definir as causas das falhas	Identificar tarefas Manutenção Preventiva	Detalhar instruções
Coletar dados	Definir falhas funcionais	Definir efeitos das falhas	Selecionar tarefas efetivas	Revisar planos
Descrever sistema		Classificar consequência	Estabelecer intervalos	Conduzir auditorias
Identificar elementos		Identificar sistemas críticos	Identificar mudanças de projeto	Conduzir mudanças de projeto
Definir fronteiras e interfaces				

Fonte: Lafraia (2001)

3.4 Distribuição de Weibull aplicada na MCC

A distribuição de weibull consegue, de maneira efetiva, representar diversas curvas comportamentais de tempos de falha. É possível correlacionar dados específicos de falha com distribuições particulares.

Segundo Lafraia, 2001, confiabilidade é descrita como a probabilidade de que um componente, equipamento ou sistema exercerá sua função sem falhas, por um período de tempo previsto, sob condições de operação especificadas.

As equações que governam a forma das curvas são apresentadas a seguir.. A equação (1) representa a confiabilidade, (2) é a probabilidade de falha até o tempo t , (3) é a função densidade de probabilidade de falha (percentual de falhas ocorridas no tempo) e (4) é a taxa de falha (probabilidade de ocorrências de falhas por tempo):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t^\beta}{\eta}} \quad (2)$$

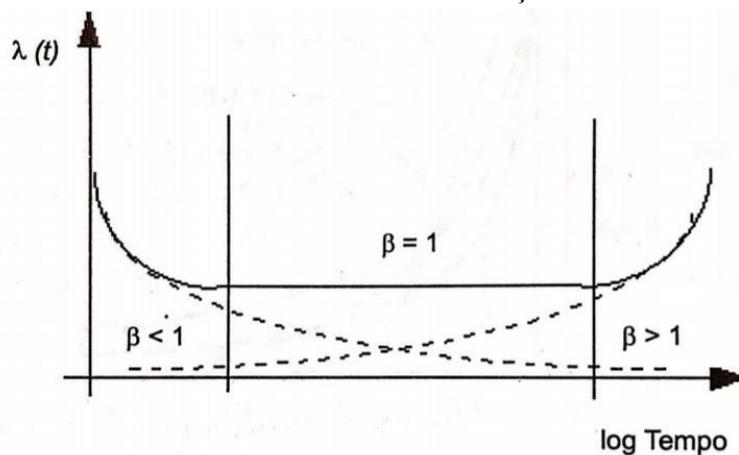
$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} t^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (4)$$

onde t é o tempo até a falha, η é o parâmetro de vida mínima e β é o fator de forma.

O fator de forma β indica o período de vida atual. Valores de $\beta < 1$ representa taxa de falhas decrescente, $\beta = 1$ representa taxa de falhas constante e $\beta > 1$ representa uma taxa de falhas crescente, como mostra a figura 3.2

Figura 3.2: Curvas de taxa de falhas em relação ao fator de forma β .



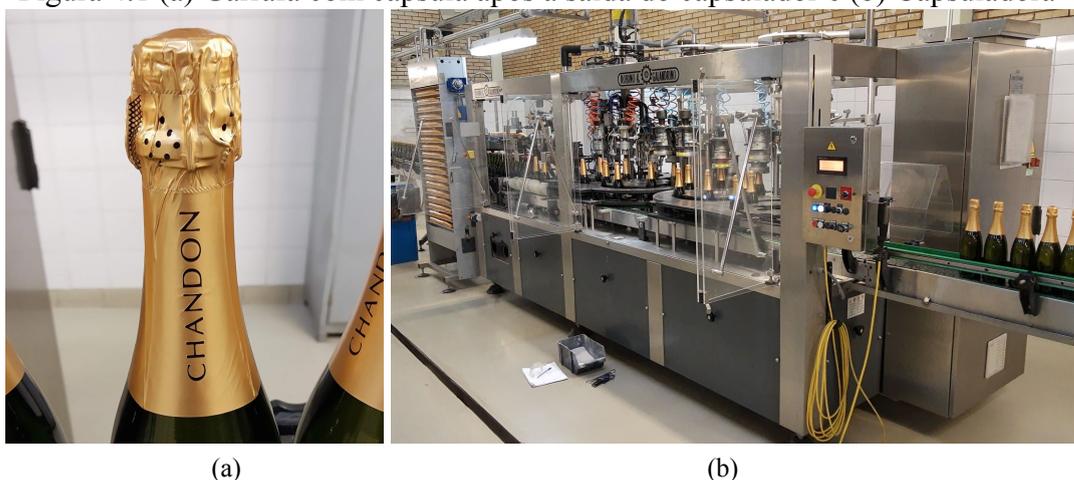
Fonte: Lafraia (2001)

4. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

4.1 Escolha do equipamento

Foi definida a escolha pela máquina responsável pela aplicação da cápsula na garrafa, a capsuladora. Adquirida em 2012, a capsuladora Robino & Galandrino ZENITH F 3/18 OTTICO é uma das máquinas mais novas do engarrafamento e rotulagem. É responsável por colocar a cápsula na garrafa já rolhada e engaiolada, plissar (dobrar) a cápsula e posteriormente alisar a mesma. A cápsula é uma folha metálica responsável por proteger a rolha da ação de agentes externos. A Figura 4.1 (a) exemplifica uma cápsula bem colocada após a saída da máquina e a Figura 4.1 (b) apresenta uma visão geral da máquina.

Figura 4.1 (a) Garrafa com cápsula após a saída do capsulador e (b) Capsuladora



Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Capsuladora Robino & galandrino ZENITH F 3/18 OTTICO

Posicionada na parte de rotulagem, antes da adesivagem, a máquina tem capacidade de encapsular 5.000 garrafas por hora.

O correto funcionamento da máquina depende majoritariamente da parte mecânica, da parte pneumática, da parte elétrica e da correta integração entre as partes. Mangueiras de ar comprimido, válvulas pneumáticas, conjuntos de guia e rolamento, guias de deslizamento vertical, borrachas com funções de prensar, dobrar e alisar, rodas dentadas, correntes, esteiras e motores são componentes presentes.

Pode-se dividir a máquina em alguns sistemas mais simples, como o sistema alimentador de cápsulas, o sistema posicionador de cápsulas, o sistema de dobragem (plissagem) de cápsulas, o sistema de alisamento de cápsulas e o sistema de movimentação de garrafas. A cápsula é responsável por proteger a rolha de agentes externos que possam danificá-la e, conseqüentemente, deteriorar o espumante.

4.2.1 O sistema alimentador de cápsulas

O sistema inicia com a alimentação manual de cápsulas em uma esteira que serve como dispenser de cápsulas para a máquina. Um sensor de presença de cápsulas detecta

quando há menos cápsulas do que o programado na esteira de colocação de cápsulas. Um sinal é enviado ao motor que controla a esteira dispensadora, girando a mesma um certo passo e posicionando a próxima fila de cápsulas na posição de liberação. Estas cápsulas são então levadas pela esteira de colocação até o ponto onde são preparadas para serem colocadas individualmente através de um acionador de agulha e válvula de liberação de ar, que posiciona a cápsula em um copo rotativo. A cápsula, já em posição após rotação do copo, é então ejetada do copo por um jato de ar. O sistema como um todo está ilustrado na figura 4.2 (a) e (b):

Figura 4.2 (a) e (b) Sistema alimentador de cápsulas



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.2 Sistema posicionador de cápsulas

Após colocada sobre a garrafa, a cápsula é suspensa através de uma diferença de pressão criada pelo sistema pneumático no cabeçote. Um motor e um sensor são responsáveis pelo posicionamento da cápsula em uma posição pré definida. Um lado onde está o nome da vinícola é definido como a frente da garrafa. A garrafa, que está sobre pratos giratórios, também é posicionada por sensor e motor, a fim de evitar que a “costura” do vidro fique na parte da frente. Essa costura pode alterar a adesivagem posterior, causando bolhas e facilitando o desprendimento do rótulo e contrarrótulo.

Quando tanto a cápsula quanto a garrafa estão posicionadas, o sistema pneumático deixa de criar um leve vácuo para transformar a parte superior do copo de borracha em uma câmara sob pressão, que faz a prensagem da cápsula na garrafa, garantindo que ela não altere mais a posição.

Os movimentos verticais do cabeçote posicionador são feitos através de um sistema de came-seguidor.

O sistema posicionador, assim como uma garrafa após o posicionamento e prensagem da cápsula estão ilustrados na Figura 4.3 (a) e (b):

Figura 4.3: (a) sistema posicionador (b) garrafa após a colocação da cápsula



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.3 Sistema de dobragem (plissagem) de cápsulas

A dobra das cápsulas é feita quando o cabeçote de dobragem desce ao encontro da garrafa. Esse cabeçote possui um copo com uma borracha. Essa borracha possui vincos que, com um auxílio pneumático, possibilitam a folha metálica tomar a forma desejada nesse processo

Os movimentos verticais do cabeçote de dobragem são feitos através de um sistema de came-seguidor.

O sistema de dobragem, assim como uma garrafa após a dobra da cápsula estão ilustrados na Figura 4.4 (a) e (b):

Figura 4.4 (a) Sistema de dobragem (b) garrafa após a dobra da cápsula



(a)

(b)

Fonte:Elaborado pelo autor

4.2.4 Sistema de alisamento da cápsula

O funcionamento deste sistema é semelhante ao sistema de dobragem.

O alisamento das cápsulas é feito quando o cabeçote de alisamento desce ao encontro da garrafa. Esse cabeçote possui um copo com uma borracha. Essa borracha possui vincos que, com um auxílio pneumático, possibilitam a folha metálica tomar a forma desejada nesse processo. No cabeçote também estão dispostas espátulas que fazem a finalização do alisamento.

Os movimentos verticais do cabeçote de alisamento são feitos através de um sistema de came-seguidor.

O sistema de alisamento, assim como uma garrafa após o alisamento da cápsula estão ilustrados abaixo na figura 4.5 (a) e (b):

Figura 4.5: (a) sistema de alisamento (b) garrafa após o alisamento da cápsula



(a)

(b)

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2.5 Sistema de movimentação de garrafas

A movimentação das garrafas ao entrar na máquina é feita através de parafuso em espiral, que posiciona as garrafas nas estrelas de movimentação. A movimentação das garrafas entre as estações é feita através de estrelas sincronizadas. Estas estrelas estão presentes antes de cada estação (de posicionamento e prensagem, de dobragem e de alisamento de cápsulas). Ao sair da estação de alisamento, a garrafa é transportada via uma esteira para a esteira principal da linha de produção.

Na figura 4.6 é possível observar a estrela de entrada, o componente responsável por levar as garrafas da esteira principal até a estação de posicionamento de cápsulas.

Figura 4.6: Estrela de entrada com três garrafas sendo posicionadas no sistema de posicionamento de cápsulas



Fonte: Elaborado pelo autor

4.3 Análise de funções e falhas funcionais

Segundo Lafraia, 2001, uma falha funcional é definida como a incapacidade de qualquer item em atingir o padrão de desempenho esperado. Já segundo Moubray, 2003, uma falha funcional é a incapacidade de um equipamento cumprir uma função para um padrão de desempenho aceitável pelo usuário. As duas definições são semelhantes em sentido.

A caracterização de falha varia de acordo com quem analisa. Moubray, 2003, cita como exemplo o caso de um vazamento hidráulico. Para o gerente de manutenção, uma falha pode ser caracterizada se houver um vazamento de óleo que gere consumo excessivo. Já para o gerente de produção só seria caracterizada uma falha se o vazamento interferisse no desempenho produtivo da máquina. Nesta análise particular foi levada em conta opiniões do operador da máquina e do gerente e do supervisor de manutenção. Os sistemas definidos, as funções e as falhas funcionais estão descritas na tabela 4.1

Tabela 4.1: Análise de funções e falhas funcionais

Sistema	Funções	Falhas funcionais
alimentador de cápsula	liberar cápsulas quando necessário	liberar cápsulas quando não é necessário
		não liberar cápsulas
	transportar cápsulas	não transportar cápsulas até a garrafa
	colocar uma cápsula em cada garrafa	colocar mais de uma cápsula em uma garrafa
		não colocar cápsula na garrafa
posicionador de cápsula	movimentar o cabeçote	não movimentar o cabeçote
	suspender a cápsula para posicionamento	não suspender a cápsula
	posicionar a garrafa com a costura para o lado	posicionar a garrafa com a costura para frente

	posicionar a cápsula com o spot UV para frente	posicionar a cápsula com o spot em outras posições
	prensar a cápsula	não prensar a cápsula
	liberar a cápsula	não liberar a cápsula
dobragem (plissagem) da cápsula	movimentar o cabeçote	não movimentar o cabeçote
	prender cápsula para dobra	não prender a cápsula
	dobrar a cápsula	não dobrar a cápsula
	soltar a cápsula após dobra	não soltar a cápsula
alisamento da cápsula	movimentar o cabeçote	não movimentar o cabeçote
	prender cápsula para alisamento	não prender a cápsula
	alisar a cápsula	não alisar a cápsula
	soltar a cápsula após alisamento	não soltar a cápsula
movimentação de garrafas	movimentar as garrafas	não movimentar as garrafas

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 Análise de Efeitos e Modos de Falha (FMEA)

Para Moubray, 2003, qualquer evento que pode levar algum equipamento ou componente a falhar é considerado um modo de falha. A análise do modo de falha se torna importante a partir do momento que se entende que a manutenção é gerenciada ao nível do modo de falha. Já o efeito de uma falha descreve o que acontece quando ocorre um modo de falha. Moubray, 2003, também diz que quando um modo de falha é identificado é possível considerar o que acontece quando este ocorre, verificar as consequências e também decidir se algo deve ser feito para antecipar, corrigir, prevenir ou até mesmo reprojeter. Com isto, a seleção dos processo de manutenção (e o gerenciamento destes processos) é realizado ao nível de modo de falha.

É importante salientar que as consequências de uma falha diferem dos efeitos dessa falha. O efeito da falha registra o que acontece quando falha, enquanto a consequência faz menção a como a falha importa. Os efeitos da falha devem prover todas as informações para uma correta análise das possíveis consequências (evidências que a falha ocorreu, possíveis ameaças à segurança e meio ambiente e de que maneira a produção é afetada).

A tabela com funções, falhas funcionais, modos de falha, efeitos de falha e tempos de parada de produção do sistema posicionador de cápsulas encontra-se na tabela 4.2, a tabela completa para todos os sistemas encontra-se no apêndice I.

As funções, falhas funcionais, modos de falha, efeitos de falha e tempos de paradas foram desenvolvidas através de uma análise da equipe de manutenção com o operador da máquina para a realização deste trabalho

Tabela 4.2: Efeitos e tempos de parada dos modos de falha para o sistema posicionador de cápsula

Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeito da falha	Tempo de parada (min)
movimentar o cabeçote	não movimentar o cabeçote	desgaste excessivo nos rolamentos	Quebra dos rolamentos. Substituir	60
		atrito excessivo nos guias dos rolamentos	Desgaste dos rolamentos. Substituir.	60
suspender a cápsula para posicionamento	não suspender a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20
		borracha de prensagem com avarias	Perda de função. Substituir.	15
		válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30
posicionar a garrafa com a costura para o lado	posicionar a garrafa com a costura para frente	sensor desregulado	Posicionamento incorreto da garrafa. Recalibrar ou substituir.	30
		motor dos pratos desregulado	Posicionamento incorreto dos pratos. Calibrar/substituir.	45
posicionar a cápsula com o spot UV para frente	posicionar a cápsula com o spot em outras posições	spot fraco	Sensor não detecta ponto de posicionamento. Falha de insumo.	-
		sensor desregulado	Posicionamento incorreto da cápsula. Calibrar/substituir.	30
		motor de posicionamento da cápsula desregulado	Posicionamento incorreto da cápsula. Calibrar/substituir.	45
		mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20
prensar a cápsula	não prensar a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20
		borracha de prensagem com avarias	Perda de função. Substituir.	15
		válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30
liberar a cápsula	não liberar a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20
		borracha de prensagem com avarias	Perda de função. Substituir.	15
		válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30

Fonte: Elaborado pelo autor

4.5 Análise das consequências de falhas

Após a análise dos efeitos de falhas o próximo passo lógico é a análise das consequências dessas falhas. Lafraia, 2001, apresentou um diagrama de decisões para classificar cada consequência de falha, apresentado no anexo II. Primeiramente separa-se as falhas em evidentes ou ocultas. A falha evidente, como o próprio nome diz, é de fácil identificação devido a seus efeitos. Já as falhas ocultas são aquelas que ocorrem de tal forma que não é possível perceber a falha, a menos que uma outra falha ocorra. As falhas evidentes ainda podem ser subdivididas em segurança ou ambiental, operacional e econômica. Não se admite, segundo a MCC que um modo de falha com consequências ambientais de segurança ou ambientais sofram uma manutenção corretiva. Se não for possível uma manutenção preventiva, por exemplo, o sistema deverá ser reprojetoado.

4.6 Análise de Weibull na MCC

Para esta análise estatística foi escolhido o componente da máquina que, historicamente, apresenta mais falhas e manutenções não programadas. Este componente é a borracha de prensagem, presente no cabeçote da estação do sistema de posicionamento e prensagem das cápsulas. Com a análise de Weibull pode-se determinar parâmetros como : confiabilidade, taxa de falha e fase de vida do equipamento e, assim, determinar a melhor política de manutenção.

Foi utilizado, para isto, o site Reliability Analytics Toolkit. Com a inserção dos tempos até a falha das borrachas foram calculados os parâmetros de fator de forma e vida característica. Os dados de entrada (em horas) e saída da análise estão dispostos nas tabelas 4.3 e 4.4.

Tabela 4.3: Dados de entrada para definição dos parâmetros da distribuição de Weibull

intervalo entre falhas (horas)	360	720	1440	2160	2880	3600	5040	5760	7200	8640
número de ocorrências	3	2	4	3	2	2	1	2	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

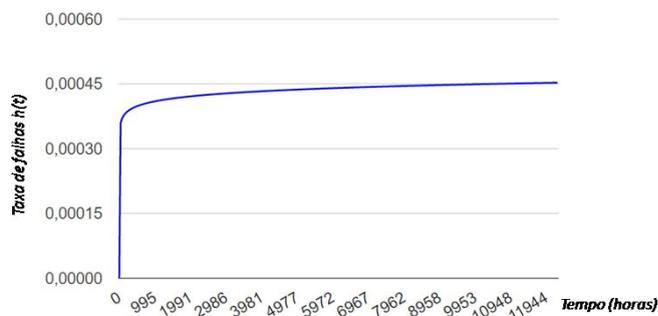
Tabela 4.4: Dados de saída para definição dos parâmetros da distribuição de Weibull

Fator de forma β	1,04
Vida característica η	2450,39

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os valores do fator de forma e da vida característica e com as equações (1), (2), (3) e (4) é possível encontrar os gráficos que governam a vida deste tipo de componente. O gráfico que demonstra a taxa de falhas é a figura 4.7. Os gráficos que representam as curvas de confiabilidade, probabilidade de falha até o tempo e a densidade de probabilidade de falha estão presentes no anexo III.

Figura 4.7: Gráfico da taxa de falhas do componente obtido via análise de Weibull



Fonte: Reliability Analytics Toolkit

Segundo o diagrama de decisões do fator de forma de Weibull apresentado por Kardec e Nascif, 2001 (Anexo I), o valor do fator de forma muito próximo a 1 sugere uma taxa de falhas constante e aleatória. A estratégia de manutenção para este tipo de evento, por exemplo, é apenas corretiva pois não é possível determinar um tempo característico de desgaste nem de operação até a falha.

4.7 Plano de manutenção

Lafraia, 2001, apresenta um diagrama de tomada de decisões que é utilizado para definir o tipo de manutenção realizado para cada modo de falha. Este diagrama está no Anexo II. O dado de entrada no diagrama é o modo de falha e a saída pode ser uma dentre as opções a seguir: manutenção corretiva, preventiva ou preditiva.

Os únicos componentes passíveis de uma manutenção proativa são os rolamentos e correntes. É possível fazer testes de acompanhamento de modos de falha com falhas ocultas, como por exemplo com sensores. A tabela com as tarefas e frequências encontra-se na tabela 4.4.

A tabela de tarefas e frequências foi proposta pelo autor em conjunto com a equipe de manutenção e do operador da máquina para a realização deste trabalho.

TABELA 4.5: Tarefas, frequência e setor responsáveis

TAREFA	FREQUÊNCIA
Inspeção dos sensores	mensal
Inspeção das mangueiras de ar comprimido	mensal
Inspeção das válvulas de ar comprimido	mensal
Inspeção dos rolamentos	semestral
Inspeção do copo de colocação	semestral
Inspeção das borrachas de prensagem	semestral
Inspeção das borrachas de dobra	semestral
Inspeção das borrachas de alisamento	semestral
Inspeção das correntes sincronizadoras	anual
Inspeção das rodas dentadas	anual
Inspeção do dispenser de cápsulas	anual
Inspeção da esteira de cápsulas	anual
Inspeção das estrelas	anual
Inspeção do motor principal	anual

Fonte: Elaborado pelo autor

Todos os outros modos de falha podem passar por inspeções periódicas, mas o modo de manutenção mais indicado para a maioria deles é a corretiva por alguns possíveis motivos: baixa probabilidade de ocorrência, questões econômicas ou por não haver devida precisão em relação ao comportamento temporal dos modos de falha nem em relação a curva de degradação do componente.

Atualmente a empresa não possui sistemas de detecção de vazamentos de ar comprimido, como sensores ultrassônicos, para serem utilizados nas máquinas da linha de engarramento e rotulagem. A inspeção pode ser feita através de aplicação de algum tipo de espuma sobre as mangueiras. Pontos de vazamento irão criar bolhas.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O objetivo de elaborar um plano de manutenção visava diminuir o índice de paradas não programadas para chegar mais perto do tempo zero. Esperava-se encontrar ao longo do estudo fatores que pudessem elevar a vida útil do equipamento e a diminuição da ocorrência de falhas.

Percebeu-se via análise estatística de Weibull que as falhas mais significativas, a perda de função das borrachas de prensagem, são de natureza aleatória, com taxa de falhas constante ao longo do tempo. Com essa informação foi criada uma lista de inspeção de todos os componentes responsáveis pelos modos de falha apontados (apresentada na Tabela 4.4). Nem todos esses componentes são passíveis de identificação de padrões ou de avarias que levem a uma falha em um determinado intervalo de tempo, logo a manutenção indicada para estes casos é a corretiva. A tabela 5.1 representa o plano de manutenção de condição dos itens resultantes desta análise sobre falhas passivos de inspeções que possam efetivamente prever tempos de falha previsíveis:

Tabela 5.1: Plano de manutenção de condição

tarefa	frequência	setor responsável
Inspeção dos rolamentos	semestral	manutenção
Inspeção das correntes sincronizadoras	anual	manutenção
Inspeção das rodas dentadas	anual	manutenção

Fonte: Elaborado pelo autor

Os outros componentes restantes da Tabela 4.4, responsáveis pelos modos de falha estudados, não possuem manutenções programadas pelo motivo econômico de ser mais barato trocar uma borracha de prensagem que falhou e perdeu a função, por exemplo, do que parar a produção para verificar o estado de cada uma - o custo de uma borracha é cerca de R\$400,00, somados aos 15 minutos de parada para troca é menor do que o custo de parar a produção por um tempo maior enquanto se analisa o estado de cada borracha individualmente (esta demonstração encontra-se no Apêndice II). Outros motivos para não programar manutenções em modos de falha são a baixa probabilidade de ocorrência ou porque não há informações suficientes sobre a curva de degradação dos mesmos. Com a inspeção dos rolamentos, por exemplo, será possível obter dados que possibilitem controlar melhor o desgaste ao longo do tempo e, com isso, estimar um tempo de operação até a falha. Com isso não seria mais necessária as inspeções semestrais.

O manual da máquina sugere realizar regularmente, além de limpezas e lubrificações gerais nos pontos graxeiros, uma revisão na tensão das correntes sincronizadoras. O fabricante também sugere inspeções básicas, como conferir os manômetros do ar comprimido antes de e

durante o funcionamento da máquina. Os manômetros devem indicar zero e entre 7 e 10 bar na rede de ar comprimido da máquina, respectivamente antes e durante o funcionamento da máquina. Estas sugestões não se enquadram como manutenções preventivas.

Pode-se treinar o operador da máquina para a realização da troca das borrachas e a criação e utilização de manuais e guias para tal. Sensores, mangueiras e válvulas também podem ser reparados ou substituídos pelo operador com o devido treinamento sobre o procedimento a ser realizado.

6. CONCLUSÕES

A aplicação do FMEA (análise de modos e efeitos de falha) possibilita obter uma visão mais completa da máquina como um todo, além de, ao mesmo tempo, uma visão centrada em cada componente passivo de falha, assim como os efeitos e consequências de cada falha. O conhecimento adquirido sobre o ativo é evidente. O plano de manutenção estruturado durante este trabalho, apesar de compacto, tende a diminuir o número de falhas a longo prazo, visto que anteriormente não havia um plano de manutenção formal.

A implantação da MCC (manutenção centrada em confiabilidade) ajudou a perceber que a instalação de sensores e aquisitores de dados é fundamental para diminuir ainda mais o número de falhas. Indicadores como vibrações excessivas ou irregulares podem significar que o motor principal ou até então as rodas dentadas e correntes sincronizadoras podem vir a falhar em seguida. Sensores ultrassônicos ajudam a detectar vazamentos de ar comprimido, algo fundamental para o funcionamento da máquina.

A análise estatística de Weibull ajudou a perceber a aleatoriedade da natureza das falhas nas borrachas de prensagem. Graças a este dado, a estratégia de manutenção destes componentes em específico e também das outras borrachas presentes na máquina (dobra e alisamento) irá mudar. Os operadores sinalizavam quando entendiam que as borrachas iriam falhar e, preventivamente, estas eram trocadas sem efetivamente falhar. A partir de agora, as borrachas só serão substituídas quando falharem e perderem a função.

Um próximo passo seria a aplicação desta metodologia a outras máquinas presentes na linha de engarrafamento e rotulagem, da mais simples a mais complexa, para obter o plano de manutenção mais completo possível e, assim, um melhor planejamento da equipe de manutenção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L.; “**Confiabilidade e Manutenção Industrial**”, Elsevier, 2º reimpressão, 2009.

KARDEC, A.; NASCIF, J.; “**Manutenção: Função Estratégica**”, Qualitymark Editora Ltda, 2ª edição, 2001

LAFRAIA, J. R. B.; “**Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**”, Qualitymark Editora Ltda, 1ª edição, 2001.

MOUBRAY, J. “**Manutenção Centrada em Confiabilidade**”. Edição brasileira. Editora Aladon, 2ª impressão, 2003.

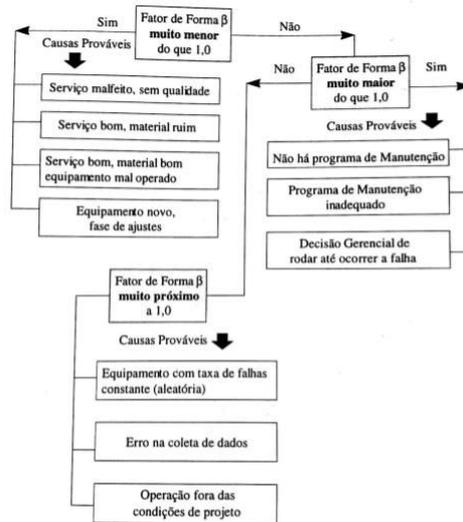
SIQUEIRA, I. P.; “**Manutenção centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação**”, Qualitymark, 2005.

Análise de Weibull; Disponível em:
https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/weibull_analysis. Acesso em 12 nov. 2019.

Análise da distribuição de Weibull; Disponível em:
https://reliabilityanalyticstoolkit.appspot.com/weibull_distribution. Acesso em 12 nov. 2019.

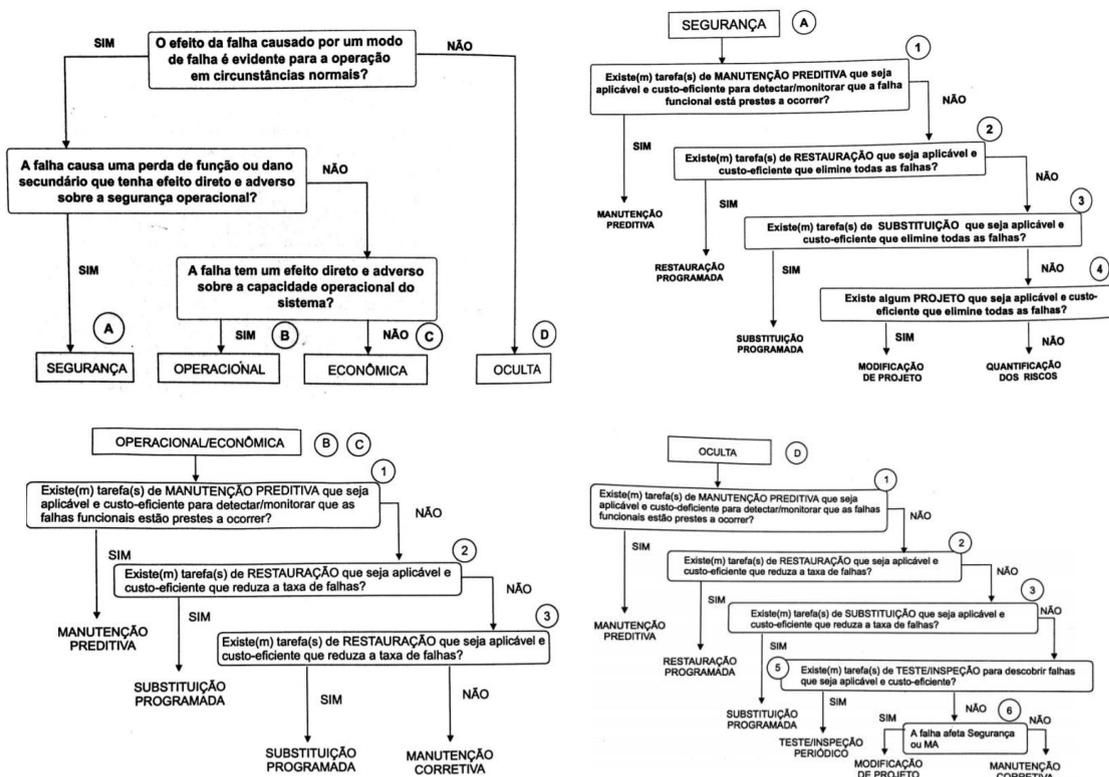
ANEXOS

Anexo I: Diagrama de causas prováveis utilizando como parâmetro o fator de forma de Weibull



Fonte: Kardec e Nascif (2001)

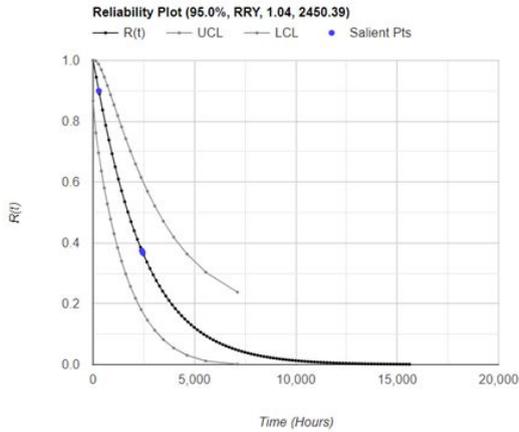
Anexo II: Diagrama de decisões para consequências de modo de falha



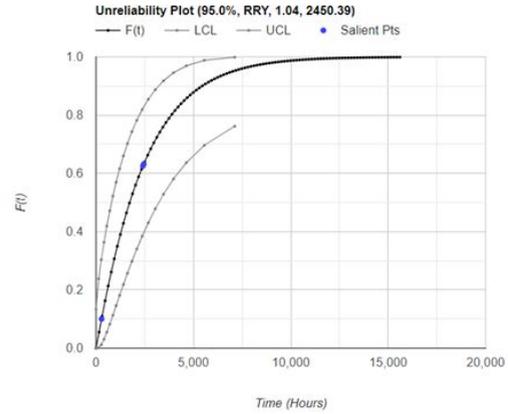
Fonte: Lafraia (2001)

Anexo III: Gráficos resultantes da análise de Weibull para o caso das borrachas de prensagem

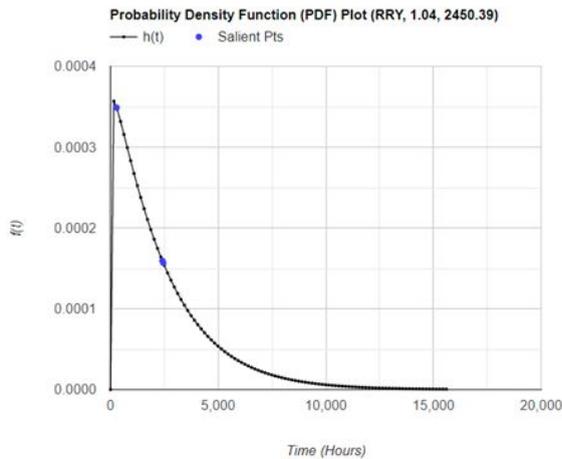
(a) Gráfico da Confiabilidade



(b) Gráfico da probabilidade de falha



(c) Gráfico da função densidade de probabilidade de falha



APÊNDICES

Apêndice I: FMEA para todos os sistemas da capsuladora.

sistema	funções	falhas funcionais	modo (causa) de falha	efeito da falha	tempo de parada (em minutos)
Alimentador de cápsula	liberar cápsulas quando necessário	liberar cápsulas quando não é necessário	sensor desregulado	Liberação incorreta de cápsulas. Recalibrar ou substituir.	30
			passo do dispenser desregulado	Movimentação aleatória do dispenser. Regular.	30
		não liberar cápsulas	sensor desregulado	Sensor defeituoso. Recalibrar ou substituir.	30

	transportar cápsulas	não transportar cápsulas até a garrafa	dispenser trancado	Saída das cápsulas interrompida. Reparar.	5	
			esteira rompida	Perda de função. Substituir.	30	
			bloqueio na esteira	Transporte das cápsulas interrompido. Corrigir.	10	
			esteira dessincronizada	Movimentação aleatória da esteira. Regular.	30	
	colocar uma cápsula em cada garrafa	colocar mais de uma cápsula em uma garrafa	agulha não separa uma cápsula por vez	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
			válvula de ar desregulada	Quantidade de ar maior do que o especificado. Regular.	30	
			cola mal aplicada na cápsula	Cápsulas coladas umas nas outras. Falha de insumo.	-	
		não colocar cápsula na garrafa	agulha desregulada	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
			válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
			mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20	
			fornecimento de ar comprimido interrompido	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
	presor desregulado	Liberação de cápsulas interrompida. Ajustar.	10			
	desalinhamento do copo de colocação	Cápsula não cai sobre a garrafa. Alinhar.	15			
posicionador de cápsula	movimentar o cabeçote	não movimentar o cabeçote	desgaste excessivo nos rolamentos	Quebra dos rolamentos. Substituir	60	
			atrito excessivo nos guias dos rolamentos	Desgaste dos rolamentos. Substituir.	60	
	suspender a cápsula para posicionamento	não suspender a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20	
			borracha de prensagem com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
			válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
	posicionar a garrafa com a costura para o lado	posicionar a garrafa com a costura para frente	sensor desregulado	Posicionamento incorreto da garrafa. Recalibrar ou substituir.	30	
			motor dos pratos desregulado	Posicionamento incorreto dos pratos. Calibrar/substituir.	45	
	posicionar a cápsula com o spot UV para frente	posicionar a cápsula com o spot em outras posições	spot fraco	Sensor não detecta ponto de posicionamento. Falha de insumo.	-	
			sensor desregulado	Posicionamento incorreto da cápsula. Calibrar/substituir.	30	
			motor de posicionamento da cápsula desregulado	Posicionamento incorreto da cápsula. Calibrar/substituir.	45	
			mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20	
	prensar a cápsula	não prensar a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20	
			borracha de prensagem com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
			válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
	liberar a cápsula	não liberar a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20	
			borracha de prensagem com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
			válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
	dobragem (plissagem) da cápsula	movimentar o cabeçote	não movimentar o cabeçote	desgaste excessivo nos rolamentos	Quebra dos rolamentos. Substituir.	60
				atrito excessivo nos guias dos rolamentos	Desgaste dos rolamentos. Substituir.	60

	prender cápsula para dobra	não prender a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar.	20	
			borracha de dobra com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
			válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
	dobrar a cápsula	não dobrar a cápsula	borracha de dobra com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
	soltar a cápsula após dobra	não soltar a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar	20	
			borracha de dobra com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
válvula pneumática entupida			Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30		
alisamento da cápsula	movimentar o cabeçote	não movimentar o cabeçote	desgaste excessivo nos rolamentos	Quebra dos rolamentos. Substituir.	60	
			atrito excessivo nos guias dos rolamentos	Desgaste dos rolamentos. Substituir.	60	
	prender cápsula para alisamento	não prender a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar	20	
			borracha de dobra com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
			válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
	alisar a cápsula	não alisar a cápsula	borracha de dobra com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
	soltar a cápsula após alisamento	não soltar a cápsula	mangueira de ar comprimido rompida/desconectada	Passagem de ar comprimido interrompida. Substituir/reconectar	20	
			borracha de dobra com avarias	Perda de função. Substituir.	15	
			válvula pneumática entupida	Pressão/vazão no sistema não é suficiente. Reparar.	30	
	movimentação de garrafas	movimentar as garrafas	não movimentar as garrafas	estrelas danificadas	Encaixe incorreto das garrafas. Substituir.	30
				desgaste excessivo nos rolamentos	Quebra dos rolamentos. Substituir.	60
				desgaste excessivo nas correntes	Quebra das correntes. Substituir.	45
desgaste excessivo nas rodas dentadas				Perda de sincronia das estações. Substituir.	45	
motor desregulado				Velocidade aleatória de giro. Regular.	60	

Fonte: Elaborado pelo autor

Apêndice II: Tabela de demonstração dos custos de paradas de produção

custo borracha	400	reais
produção média	2000	garrafas/hora
preço de venda	66	reais/garrafa
custo por minuto parado	2200	reais
tempo de parada para troca	15	minutos
tempo de parada para inspeção	30	minutos
custo parada para troca	33000	reais
custo total de inspeção	66000	reais
custo total de troca	33400	reais

Fonte: Elaborado pelo autor