

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

PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM ELEVADOR DE PASSAGEIROS USANDO O
MÉTODO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

por

Mario Francisco Rigon da Silveira

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, Agosto de 2023

CIP - Catalogação na Publicação

da Silveira, Mario Francisco Rigon
PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM ELEVADOR DE PASSAGEIROS
USANDO O MÉTODO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE / Mario Francisco Rigon da Silveira. --
2023.

27 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, 2023.

1. Manutenção Centrada em Confiabilidade. 2.
Elevadores. 3. Confiabilidade Operacional. 4. Análise
de Falhas. 5. Weibull. I. Quintas, Juan Pablo Raggio,
orient. II. Título.

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

Mario Francisco Rigon da Silveira

PLANO DE MANUTENÇÃO PARA UM ELEVADOR DE PASSAGEIROS USANDO O
MÉTODO DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

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. Ignacio Turrioz

Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Energia e Fenômenos de Transporte/Processos de
Fabricação/Mecânica dos Sólidos

Orientador: Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Comissão de Avaliação:

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas (Presidente)

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. José Antonio Esmerio Mazzaferro

RESUMO

Este trabalho aborda a aplicação do conceito de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em um modelo de elevador, visando aprimorar a gestão da manutenção, aumentar a confiabilidade operacional e reduzir os custos associados à manutenção. Para atingir esses objetivos, o estudo investigou os pontos críticos de falhas mecânicas por meio do histórico dos equipamentos, considerando métricas como o tempo médio entre falhas (MTBF), o tempo médio para reparo (MTTR) e a disponibilidade operacional. Por meio de análises de criticidade, foram identificadas tarefas de manutenção, elaborados planos de manutenção preventiva e propostas melhorias potenciais. Além disso, a análise de Weibull foi empregada para avaliar as características de falha dos sistemas avaliados, que incluem o operador da porta da cabine, a porta do pavimento e o freio da máquina de tração do modelo de elevador estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção Centrada em Confiabilidade, Elevadores, Confiabilidade Operacional, Análise de Falhas, Weibull

ABSTRACT

This paper focuses on the implementation of the Reliability Centered Maintenance (RCM) concept in an elevator model, aiming to enhance maintenance management, improve operational reliability, and reduce maintenance costs. To achieve these goals, this study investigated critical points of mechanical failures through equipment history, considering metrics such as Mean Time Between Failures (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), and operation availability. Through criticality analyses, maintenance tasks were identified, preventive maintenance plans were developed, and potential improvements were proposed. Additionally, the Weibull analysis was employed to evaluate the failure characteristics of the evaluated systems, including the cabin door operator, floor door, and traction machine brake of the studied elevator model.

KEYWORDS: Reliability Centered Maintenance, Elevators, Operational Reliability, Failure Analysis, Weibull.

NOMENCLATURA

Símbolos

λ	Taxa de falha
β	Fator de forma
η	Vida característica

Abreviaturas e acrônimos

MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
<i>MTBF</i>	Tempo Médio Entre Falhas
FMEA	Análise de Modo e Efeito de Falha

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 – OBJETIVO	1
3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
3.1 Gerenciamento de manutenção	2
3.1.1 Tipos de manutenção	2
3.1.1.1 Manutenção Corretiva.....	2
3.1.1.2 Manutenção Preventiva.....	2
3.1.1.3 Manutenção Preditiva	3
3.1.2 Engenharia de Manutenção	3
3.2 Confiabilidade	3
3.3 Weibull	4
3.4 Manutenção Centrada em Confiabilidade.....	5
4 – METODOLOGIA	6
4.1 Escolha do equipamento	6
4.1.1 Sistemas	6
4.1.1.1 Operador de Porta de Cabina	7
4.1.1.2 Operador de Porta de Pavimento	7
4.1.1.3 Freio da máquina de tração	8
4.2 Análise funcional dos sistemas	8
4.3 Análise de efeitos e modos de falha (FMEA)	9
4.4 Análise das consequências das falhas	10
4.5 Análise de Weibull na Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)	11
4.6 Definições de uma estratégia para a Manutenção	13
5 Conclusões.....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
ANEXO.....	16
APÊNDICE	17

1 - INTRODUÇÃO

Desde a revolução industrial, a manutenção de equipamentos tem se tornado cada vez mais importante, não apenas nas indústrias, onde uma máquina sem condições de uso pode causar prejuízos, mas também para a população em geral, que tem se tornado cada vez mais dependente da tecnologia em todos os aspectos. Portanto, torna-se imprescindível a inovação e aplicação de conceitos primeiramente utilizados na indústria de alta tecnologia também nos equipamentos utilizados pela sociedade.

A busca por excelência no produto acabado e nos processos produtivos é uma prioridade para a competitividade, seja na indústria, seja em serviços. Essa busca requer investimentos em mão de obra qualificada, tecnologias avançadas e sistemas de gestão eficientes. Conforme Bueno (2020), a manutenção desempenha um papel crucial dentro dos processos produtivos, garantindo que os equipamentos estejam em condições ótimas de operação e prevenindo possíveis defeitos.

Os elevadores são cada vez mais necessários devido a dois fatores: o primeiro é o aumento da verticalização das cidades, ocorrendo até mesmo mudanças na legislação para o estímulo da construção de prédios mais altos como forma de possibilitar o acesso a moradia, melhorar a alocação de recursos e desenvolver os centros urbanos de forma mais sustentável. O segundo fator é o envelhecimento da população, fato que traz, além de pressão sobre a previdência social e aumento da demanda de serviços médicos, uma maior necessidade de operação eficiente e pelo maior tempo possível dos elevadores que transportam pessoas idosas e com dificuldade de locomoção. Nesse sentido, é essencial que a gestão da manutenção seja tratada como uma das principais aliadas, atuando não somente quando surgem problemas, mas também de forma preventiva, para evitar interrupções que possam afetar negativamente o desempenho destes equipamentos. Portanto, se faz necessária a aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), utilizada amplamente dentro da indústria com o intuito de se aumentar a disponibilidade das máquinas dentro das plantas industriais. Hoje, quase todos que atuam em manufatura, geração de energia, produção e outros ambientes tecnológicos estão familiarizados com a terminologia de MCC. O objetivo principal da MCC é reunir as técnicas de manutenção mais eficientes sempre focando na confiabilidade, ao analisar as falhas, definir procedimentos, definir prioridades, analisar probabilidade de ocorrências e desenvolver práticas seguras e eficientes com foco no custo-benefício (Bloom, 2006).

Neste trabalho, foi implementada a Manutenção Centrada em Confiabilidade em elevadores, com operadores de porta de cabina e pavimento e freio de máquina de tração magnético. Os equipamentos estudados estão situados em prédios com mais de quinze pavimentos, com altíssima utilização, tornando o estudo de suas falhas e confiabilidade imprescindível para o conforto e satisfação dos usuários.

2 – OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é investigar e aplicar o conceito de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em um modelo de elevador, com o intuito de aperfeiçoar a gestão da manutenção, aumentar a confiabilidade operacional e reduzir custos de manutenção. Para isso, foi feito o estudo de pontos críticos de falhas mecânicas através do histórico dos equipamentos, identificação de indicadores de desempenho relevantes para avaliar a confiabilidade e eficácia do modelo de elevadores, levando em consideração aspectos como tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para reparo (MTTR) e disponibilidade operacional. Realizando análises de criticidade, identificação de tarefas de manutenção, elaboração de planos de manutenção preventiva e propondo eventuais melhorias.

3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Gerenciamento de manutenção

Segundo Kardec e Nascif (2001), a manutenção de equipamentos pode ser dividida em três gerações. A primeira abrange o período pré Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada, com máquinas simples e, via de regra, superdimensionadas. Produtividade não era uma preocupação e as próprias técnicas de gestão eram ainda muito incipientes. Assim, a manutenção consistia em limpeza e lubrificação, com reparos sendo feitos apenas após a quebra de um componente.

A Segunda Guerra Mundial trouxe aumento de demanda por produtos e diminuição da disponibilidade de mão de obra, o que pressionou a demanda pela mecanização da produção e complexidade das instalações industriais. Assim, surge a necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade das máquinas para que a produtividade fosse alta o bastante para suprir a demanda, o que fez surgir o conceito de manutenção preventiva. Outra mudança significativa presente nesta época foi o aumento dos custos operacionais relacionados à manutenção, dando origem a sistemas de planejamento e controle da manutenção e a busca por formas de aumentar a vida útil de componentes e equipamentos. Essa evolução ocorreu deste período até meados dos anos 60 e a isso foi dado o nome de segunda geração da manutenção.

A terceira geração surgiu na década de 70, quando o temor dos efeitos causados por uma paralisação das linhas de produção ganhou força devido à tendência mundial em se adotar modelos “Just in time”, com estoques reduzidos para a produção em andamento, significando que pequenas pausas na produção ou nas entregas poderiam paralisar toda a fábrica. Neste período, a automação ganhou espaço, tornando a confiabilidade ainda mais essencial ao funcionamento de plantas fabris. Portanto, a maior característica desta geração foi o surgimento do conceito de manutenção preditiva.

3.1.1 Tipos de manutenção

3.1.1.1 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva consiste em intervir para corrigir falhas ou melhorar o desempenho abaixo do esperado em um equipamento. Essa intervenção ocorre quando o equipamento apresenta algum defeito ou não está operando conforme o esperado. É importante ressaltar que este tipo de manutenção não é necessariamente realizado em situações de emergência, mas também se faz necessária quando o equipamento demonstra desempenho deficiente, o qual é identificado por meio do acompanhamento das variáveis operacionais ou quando ocorre uma falha no equipamento, levando-o a operar de forma inadequada ou a parar de funcionar completamente. A manutenção corretiva pode ser não planejada, podendo causar problemas significativos, ou planejada. (Kardec, Nascif, 2001)

3.1.1.2 Manutenção Preventiva

Segundo Kardec e Nascif (2001), manutenção preventiva é atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.

Ao contrário da manutenção corretiva, a preventiva visa evitar a ocorrência de falhas e por isso ela é usada extensivamente em setores como a aviação, pois o fator segurança se sobrepõe aos demais. Um benefício deste tipo de manutenção é a possibilidade de se fazer o planejamento e gerenciamento das manutenções, aumentando a previsibilidade de tempo e recursos alocados, o que a torna a ideal também para setores em operação contínua, como o petroquímico e automobilístico. Porém, a principal desvantagem é a possibilidade de falhas devido a ação do técnico responsável pela manutenção, uma vez que o equipamento em questão deverá ser aberto e estará sujeito a todo tipo de contaminação e danos.

3.1.1.3 Manutenção Preditiva

Manutenção Preditiva é a atuação realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática (Kardec, Nascif, 2001). Seu objetivo é prevenir falhas através do acompanhamento de diversos parâmetros, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Uma vez que as medições e verificações são feitas durante a operação, a decisão de intervenção pode ser tomada previamente, basicamente transformando este tipo de manutenção em uma manutenção corretiva planejada. Este tipo de manutenção é a ideal para plantas industriais, já que diminui a ocorrência de imprevistos ocasionados pelas manutenções corretivas não planejadas e também mantém as máquinas operando o maior tempo possível, sem ter que parar para uma manutenção preventiva.

3.1.2 Engenharia de Manutenção

Segundo Bueno (2020), praticar a engenharia de manutenção é a segunda quebra de paradigma na manutenção, sendo, acima de tudo, uma mudança cultural, obtida através da prevenção e identificação de falhas, elaboração de planos de manutenção e estudo das formas para melhorar a eficiência de peças.

A engenharia da manutenção tem o objetivo de não mais conviver com problemas crônicos de mau desempenho, a partir de uma melhora sistemática nos padrões de uso dos equipamentos e na forma como a indústria lida com seus processos. O desenvolvimento de ferramentas para lidar com eventuais problemas de forma ágil se torna cada vez mais imprescindível, uma vez que a obtenção de espaço dentro do mercado depende de sutis ganhos em custos, dando origem a aumentos em competitividade e, conseqüentemente, dos lucros.

3.2 Confiabilidade

De acordo com Lafraia (2001), confiabilidade é definida como a probabilidade de um equipamento ou sistema funcionar dentro dos limites especificados de projeto, sem falhas durante o período de tempo previsto para sua vida, mesmo em condições agressivas do meio. Esse conceito pode ser aplicado em várias fases da vida do equipamento, incluindo projeto e desenvolvimento, manufatura e instalação, operação, manutenção e descarte. Seu uso pode trazer benefícios consideráveis para as organizações, como redução de paradas não programadas, diminuição dos custos de manutenção e operação e menor probabilidade de acidentes.

A confiabilidade atua diretamente nas causas fundamentais dos problemas, não apenas nos sintomas, por meio da análise de históricos de falhas dos equipamentos, identificação das causas básicas das falhas e prevenção de falhas em equipamentos similares.

3.3 Weibull

A Distribuição de Weibull é uma formulação semi-empírica criada por Ernest Hjalmar Wallodi Weibull (1887-1979), um engenheiro e matemático sueco. Em 1939, Weibull apresentou um modelo estatístico para planejamento relacionado à fadiga de materiais, permitindo uma representação gráfica simplificada das falhas típicas, como a mortalidade infantil, falhas aleatórias e desgaste. De acordo com Barbosa (2016), a distribuição de Weibull é uma função de distribuição de probabilidade contínua e unimodal, que pode ser utilizada com dois ou três parâmetros. Ela é aplicada em diversas populações e fenômenos, proporcionando uma ferramenta valiosa para analisar e compreender a probabilidade de ocorrência de eventos em sistemas sujeitos a falhas ou desgastes.

A sua capacidade de representar componentes e equipamentos com comportamentos diferentes faz da distribuição de Weibull a principal distribuição dentro da análise de confiabilidade.

A equação 1 mostra a taxa de falha $\lambda(t)$:

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

O parâmetro η representa a vida característica, o intervalo de tempo onde ocorrem 63,2% das falhas do componente ou equipamento, enquanto o parâmetro β é o fator de forma. O valor de β nos permite identificar em qual fase de vida o equipamento se encontra. A Figura 1 ilustra as diferentes fases de vida, relacionando-as aos valores do fator de forma β .

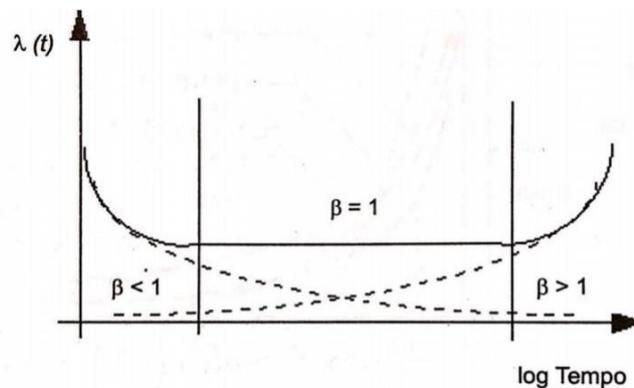


Figura 1: Curva de taxa de falha e fases de vida (Fonte: Lafraia, 2001)

Como mostra a figura 2 quando o fator de forma β é menor que 1, indica que o componente ou equipamento se encontra na fase de Mortalidade Infantil. Caso o fator de forma seja igual a 1, o equipamento está em sua fase de Vida Útil. Por outro lado, se o fator de forma for maior que 1, isso indica fase de desgaste do componente ou equipamento. Caso o fator de forma for muito maior do que 1, a vida útil com componente ou equipamento estudado está chegando ao fim

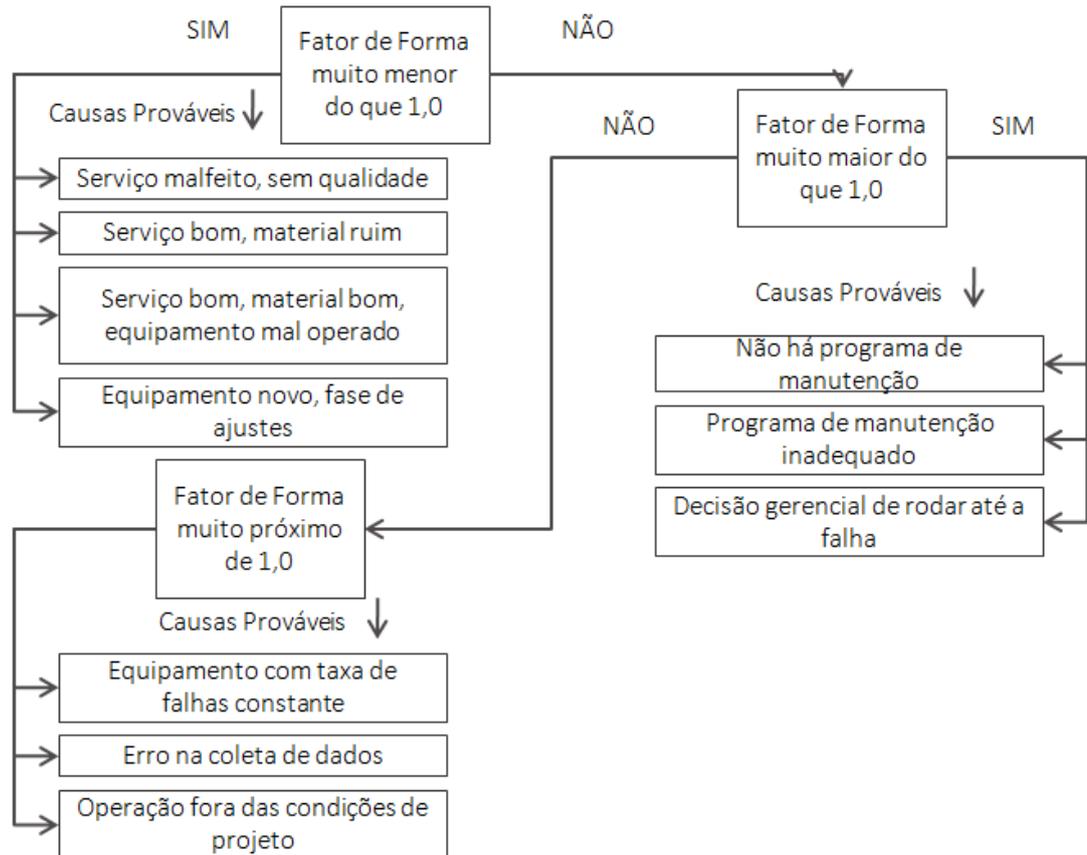


Figura 2 Diagrama de fator de forma β

3.4 Manutenção Centrada em Confiabilidade

De acordo com Backlund (2003), a indústria aeronáutica foi a precursora em pesquisas de confiabilidade e efeitos de falhas em manutenção, com objetivo de atender as exigências da FAA (Federal Aviation Agency), que estava preocupada com o elevado índice de falhas nos motores de aeronaves durante a década de 60. No início da década de 70, a Air Transport Association of America (ATA) publicou os padrões MSG-1 e MSG-2. Apresentando a abordagem de manutenção para aeronaves baseada em confiabilidade, cunhando o termo Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

Smith e Hinchcliffe (2004) definem o principal objetivo da MCC como o desenvolvimento de estratégias de manutenção planejada para abordar adequadamente a disponibilidade do sistema e sua segurança, sem elevar custos. De acordo com Moubray (1997), uma vez implantada a MCC, as rotinas de tarefas de manutenção reduziram de 40% a 70%, diminuindo custos com logística, operação e administração dentro de organizações, causando grande impacto financeiro.

Segundo Moubray (1997), o processo de implantação da MCC pode ser resumido em sete etapas:

1. Identificação das Funções do Sistema
2. Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA)
3. Seleção de funções significantes
4. Seleção das atividades aplicáveis
5. Avaliação da efetividade das atividades
6. Seleção das atividades aplicáveis e efetivas
7. Definição da Periodicidade das Atividades

O primeiro passo da MCC envolve a análise das falhas funcionais de cada função do equipamento. Uma falha funcional ocorre quando um ativo não consegue cumprir uma função de acordo com o padrão de desempenho aceitável pelo usuário.

Em seguida, é realizado o método FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha), onde são atribuídos modos de falha para cada falha funcional identificada anteriormente. O modo de falha representa a causa subjacente de cada falha funcional. Além disso, cada modo de falha resultará em um efeito de falha específico, que descreve o que acontece quando esse modo de falha ocorre.

O terceiro passo da MCC é analisar as consequências de cada modo de falha e determinar o tipo de atividade de manutenção adequada para enfrentar cada um deles. Isso pode ser feito utilizando um diagrama de decisões, como o de Lafraia (2001), para definir as consequências de cada modo de falha e o diagrama de decisões do Anexo II para especificar o tipo de atividade de manutenção apropriada para cada situação.

Segundo Bloom (2006), apesar de o grau de familiaridade percebido ser grande, isso pode ser bastante enganador. O MCC é muito simples em conceito, mas também muito sofisticadamente sutil em sua aplicação. Tal como acontece com muitos processos, tendo apenas uma compreensão muito limitada do MCC pode, de fato, revelar-se mais problemático do que benéfico. O falso nível de conforto de acreditar ingenuamente que uma implementação do processo será a solução para todos os problemas em plantas de equipamentos e, em seguida, depender desse processo para produzir resultados de confiabilidade significativos, é irreal.

4 – METODOLOGIA

4.1 Escolha do equipamento

A escolha do modelo de elevador foi feita baseada na quantidade existente deste equipamento em Porto Alegre e região metropolitana, tornando a quantidade de dados significativa e elevando a relevância deste trabalho. Este equipamento é indicado para prédios altos e com muita demanda, em função de sua robustez e confiabilidade.

4.1.1 Sistemas

A seleção dos sistemas a serem estudados foi feita de acordo com criticidade para o funcionamento e para a segurança dos usuários. Dados sobre os últimos dois anos de paradas por falha deste modelo de elevador foram analisados, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 Quantidade de defeito por sistema nos últimos dois anos (Fonte: o autor)

Tipo de defeito	Quantidade
OPERADOR DE PORTA DE CABINA	57
QUADRO DE COMANDO	32
BOTOEIRA DE PAVIMENTO	15
OPERADOR DE PORTA DE PAVIMENTO	14
BOTOEIRA DE CABINA	10
FREIO DA MÁQUINA DE TRACÇÃO	12
SELETOR	6
INVERSOR DE FREQUENCIA	5

Dentre os sistemas apresentados na Tabela 1, encontram-se os sistemas elétricos, tais como quadros de comando e botoeiras, bem como os sistemas mecânicos. Este trabalho concentra-se exclusivamente nos sistemas mecânicos, abordando os operadores das portas da cabina e dos pavimentos, além do freio da máquina de tração.

4.1.1.1 Operador de Porta de Cabina

Seguindo a Norma NBR 15.597/2008 “Requisitos de segurança para a construção e instalação de elevadores”, o operador de porta para elevadores é um equipamento que tem a função de fazer a abertura e fechamento da porta de cabina com segurança. Montado em estrutura monobloco, ele agrupa todos os seus componentes em uma única peça. O modelo estudado é um operador que pode ser adaptado a diversas configurações de portas e cabines e tem movimentação silenciosa com abertura e fechamento das portas sem qualquer trepidação. Este tipo de operador tem um dispositivo de parada instantânea do movimento de fechar a porta, chamado de barreira eletrônica infravermelha além de contatos elétricos, os quais são fornecidos e ligados a terminais previamente demarcados.

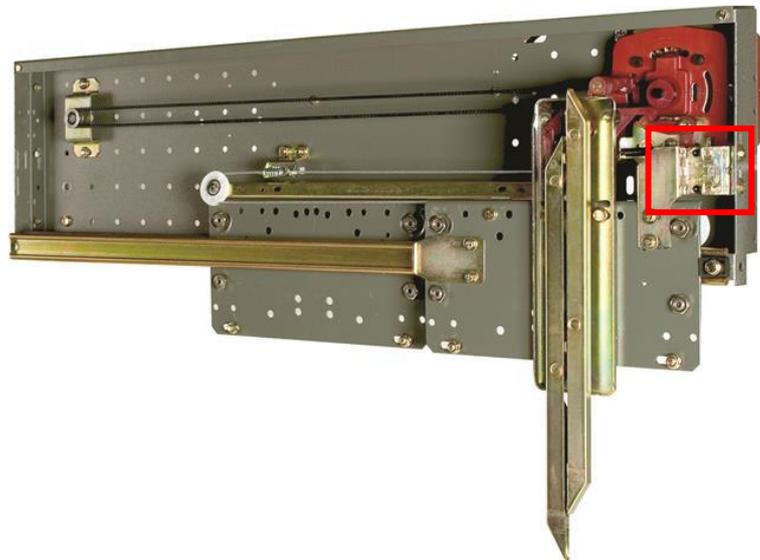


Figura 3: Operador de porta de cabina, em destaque o contato CPC (Fonte: catalogo Fermator 2021)

4.1.1.2 Operador de Porta de Pavimento

A função do operador de porta de pavimento é garantir a correta operação das portas de pavimento, principalmente impedindo que os usuários tenham acesso ao poço da cabina quando o elevador não está no pavimento. Quando as portas da cabine do elevador e a porta de pavimento do elevador estão alinhadas, um componente chamado arraste, na parte de trás da porta da cabine, desliza para baixo (ou para cima) na parte de trás das portas de pavimento. O operador então abre a porta da cabine do elevador, engatando os roletes de coleta e levando a porta de pavimento com ela. Para fechar, o operador dirige a porta da cabine do elevador, puxando a porta de pavimento do elevador. A porta de pavimento tem roldanas de nylon que correm ao longo de um trilho suspenso que, se estiverem desgastados, a abertura e o fechamento da porta podem ser estridentes ou irregulares.



Figura 4: Operador de porta de pavimento (Fonte: catalogo Fermator 2021)

4.1.1.3 Freio da máquina de tração

O conjunto de freio da máquina de tração é um dos principais itens de segurança de um elevador. O freio magnético foi projetado de acordo com a NBR 15.597 “Requisitos de segurança para a construção e instalação de elevadores” e é composto por uma sapata com lona que é ligada através de articulações a uma bobina que, quando desmagnetizada, movimenta as articulações e as molas para fazer pressão sobre as lonas de freio, que por sua vez pressionam o tambor, parando o elevador.

4.2 Análise funcional dos sistemas

A definição de funções e falhas funcionais é a primeira etapa da MCC. Falha funcional é definida como a incapacidade de um item em atingir o desempenho esperado, avaliando-se não apenas sua função primária, mas também sua função secundária. A função, por sua vez é o que o sistema foi projetado para fazer. A Tabela 2 estabelece as funções de cada sistema e as possíveis falhas que podem existir.

Tabela 2: Funções de cada sistema e as possíveis falhas

Sistema	Função	Falhas funcionais
Operador de porta de cabina	Controle de abertura e fechamento da porta da cabina	Não abrir a porta corretamente
		Não fechar a porta corretamente
	Impedir a abertura da porta de cabina quando em viagem	Abrir a porta sem o engate do arraste
	Não causar danos as portas	Causar danos a porta devido a falhas de componentes
	Impedir o fechamento da porta quando houver pessoas ou objetos em cima da soleira	Fechar a porta quando existem obstáculos sobre a soleira
Não fechar a porta apesar de não haver obstáculos para seu fechamento		

Freio da máquina	Parar o movimento da cabina	Não fechar a sapata quando o sinal for recebido pelo comando
		Deslizamento do tambor
	Abrir as sapatas para possibilitar o movimento da cabina	Não abrir a sapata quando o sinal for recebido pelo comando
Operador de porta de pavimento	Controle de abertura e fechamento da porta de pavimento	Não abrir a porta corretamente
		Não fechar a porta corretamente
	Impedir a abertura da porta sem a presença do elevador no pavimento	Não abrir a porta quando a cabina estiver no pavimento Abrir a porta sem a presença da cabina no pavimento
	Manter a integridade estrutural da porta de pavimento	Causar danos a porta devido a falhas de componentes

4.3 Análise de efeitos e modos de falha (FMEA)

Segundo Kardec e Nascif (2012), o "modo de falha" é um aspecto central da Análise de Modo e Efeito de Falha, representando os cenários em que algo pode dar errado. Ele refere-se a uma condição específica na qual um componente, subsistema, processo ou função não atende às expectativas de desempenho. Em outras palavras, é uma descrição da maneira pela qual algo pode dar errado. O efeito de falha refere-se às consequências ou resultados que ocorreriam caso um determinado modo de falha ocorresse, ou seja, é a descrição do que aconteceria se o componente, subsistema, processo ou função não atendessem às expectativas de desempenho. O tempo de parada devido a um efeito de falha foi estimado levando-se em consideração o intervalo de tempo entre a parada do equipamento devido à falha e a substituição do componente avariado.

A Tabela 3 apresenta a análise de efeitos e modos de falha apenas do sistema "operador de porta de cabina". A análise dos sistemas restantes está no Apêndice I.

Tabela 3: Análise de efeitos e modos de falha

Sistema	Função	Falhas funcionais	Modo de falha	Efeito de falha
Operador de porta de cabina	Controle de abertura e fechamento das portas de cabina e pavimento	Não abrir a porta corretamente	Rompimento da correia	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h
			Rompimento do cabo transportador	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 6h
			Falha no motor de porta de cabina	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h
			Falha no contato LPA	Comando não recebe a informação de abertura da porta de cabina. Parada: 5h
			Quebra da roldana	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 6h
		Não fechar a porta corretamente	Rompimento da correia	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h
			Rompimento	Impede o movimento da porta

			do cabo transportador	de cabina. Parada: 6h
			Falha no contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h
			Desgaste da roldana	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 2h
	Informar ao comando a posição das portas de cabina e pavimento	Sinal de porta fechada não ser enviado ao comando	Falha no Contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h
	Impedir a abertura da porta de cabina quando em viagem	Abrir a porta quando em viagem	Falha no Contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h
	Não causar danos as portas	Causar danos a porta devido a falhas de componentes	Desgaste das corredeiras de porta de cabina	Porta trancando, raspando entre si. Parada: 2h
			Desgaste das roldanas	Porta trancando, raspando entre si Parada: 2h
	Impedir o fechamento da porta quando houver pessoas ou objetos em cima da soleira	Fechar a porta com obstáculos sobre a soleira	Falha na barreira eletrônica	Possibilidade de danos a objetos ou pessoas Parada: 3h
		Não fechar apesar de não haver obstáculos		Falha no circuito de segurança Parada: 3h

4.4 Análise das consequências das falhas

O diagrama de decisão para consequência de modo de falha (Lafraia, 2001), presente no Anexo I, estabelece um sistema decisório que depende da consequência de falha, ou seja, deve-se analisar se, para cada efeito de falha, a consequência dessa falha é evidente para a operação do sistema. Se sim, essa consequência de falha pode ser de segurança, operacional ou econômica. Se não for evidente, a consequência é oculta. A seguir, para cada consequência de falha deve-se escolher um tipo de atividade de manutenção mais adequado para a falha. Na tabela abaixo, temos a análise para o sistema operador de porta de cabina. A análise de todos os sistemas está no Apêndice II.

Tabela 4: Análise de consequência de falha e tipo de manutenção

Modo de falha	Efeito de falha	Consequência de falha	Tipo de atividade de manutenção
Rompimento da correia	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
Rompimento do cabo transportador	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 6h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
Falha no motor de porta de cabina	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
Falha no contato LPA	Comando não recebe a informação de abertura da porta de cabina. Parada: 5h	OPERACIONAL	Substituição Programada
Falha no dispositivo do arraste	Folga por desgaste devido ao uso. Parada: 6h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva

Falha no Contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h	SEGURANÇA	Substituição Programada
Desgaste das corrediças de porta de cabina	Porta trancando, raspando entre si. Parada: 2h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
Desgaste das roldanas	Porta trancando, raspando entre si Parada: 2h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
Falha na barreira eletrônica	Possibilidade de danos a objetos ou pessoas Parada: 3h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
	Falha no circuito de segurança Parada: 3h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva

4.5 Análise de Weibull na Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

Para a análise de Weibull, foram selecionados os dados de falha do componente Contato CPC, que está em destaque na Figura 3 e em detalhe na Figura 5. Este componente é o contato elétrico responsável por enviar ao comando do elevador a informação de que as portas de cabina e estão fechadas, completando o circuito de segurança que permite que o elevador se movimente. Segundo a tabela presente no apêndice III, esta foi a peça que mais apresentou falhas que impedem o funcionamento do elevador.



Figura 5: Contato CPC (Fonte: catalogo Fermator 2021).

O método utilizado para a análise foi elencar os intervalos entre falhas em uma tabela e usar o método logarítmico de Weibull que usa uma reta linear, utilizando uma planilha eletrônica. Assim, os eixos X e Y do gráfico linear de Weibull foram obtidos segundo as fórmulas abaixo e a Tabela 5 contém os valores obtidos para o gráfico (Barbosa, 2016):

$$X = \ln(\Delta t) \quad (2)$$

Sendo Δt o intervalo em dias entre as falhas

$$Y = \ln \left[\ln \left(\frac{1}{1 - \frac{i-0,3}{N+0,4}} \right) \right] \quad (3)$$

Sendo i a ordem dos dados de tempo entre falhas e N o número de dados.

Os dados de intervalo entre falhas do contato CPC do operador de porta de cabina foram obtidos diretamente do sistema de gestão da empresa, com período iniciando de 01/01/2007 até 31/03/2023. Os dados completos das falhas estão no Apêndice III.

Tabela 5 Intervalo entre falhas em dias e X e Y calculados para Weibull

N	Intervalo entre falhas (dias)	X	Y
1	390	5,96615	-2,75877
2	1110	7,01212	-1,82333
3	2250	7,71869	-1,30826
4	2970	7,99632	-0,93549
5	3409	8,13417	-0,63204
6	3562	8,17808	-0,36651
7	4081	8,3141	-0,12098
8	4908	8,49862	0,11803
9	5302	8,57584	0,36489
10	5461	8,60539	0,64342
11	5722	8,65207	1,02614

A partir do cálculo de X e Y, obtemos o gráfico da linear de Weibull, conforme a figura 6

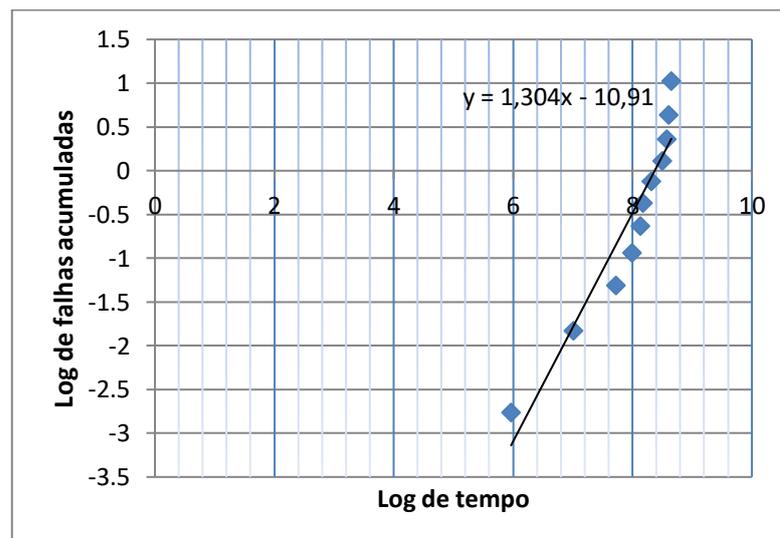


Figura 6: Gráfico de Weibull linear

O resultado de β , que é a inclinação da reta do gráfico linear é 1,304 e de b é 10,91. Com esses parâmetros calculados, é possível a obtenção de η , a vida característica descrita na seção

3.3, através da equação (4). Assim, é finalmente possível a plotagem do gráfico de Weibull de taxa de falha λ versus tempo t .

$$\eta = -\frac{b}{\beta} \quad (4)$$

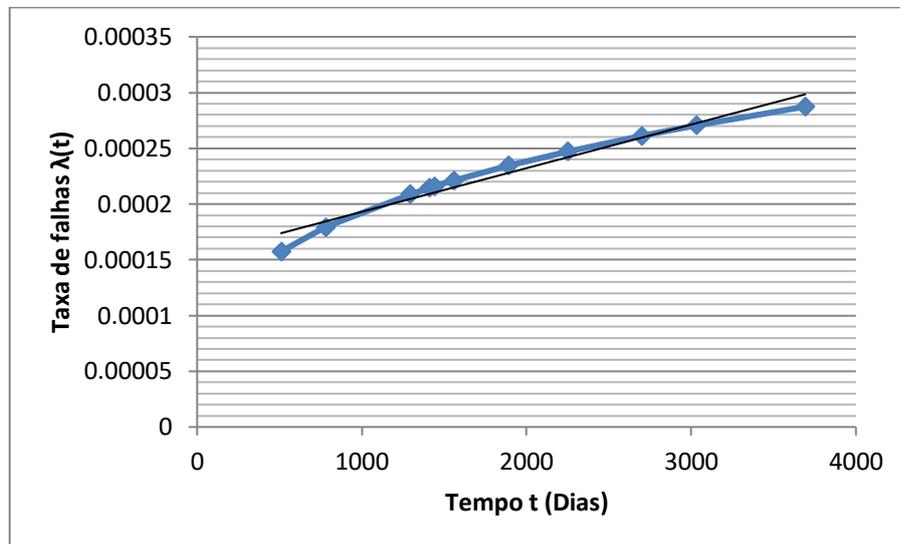


Figura 7: Gráfico de Weibull de taxa de falha λ versus tempo t

Portanto, com β maior do que 1, temos que isso indica a fase de desgaste do componente ou equipamento. Ao utilizarmos diagrama decisões do fator de forma de Weibull (Kardec e Nascif, 2001), mostrado na seção 3.3, chegamos a conclusão de que o programa de manutenção é inadequado, pois o componente está chegando ao fim de sua vida útil e é possível que seja feita a substituição deste componente antes que a falha ocorra.

4.6 Definições de uma estratégia para a Manutenção

Apesar de a estratégia de manutenção dos sistemas ser definida a partir da tabela de consequências de falha e tipos de atividade de manutenção, presente no apêndice II, não há forma pré-estabelecida de decisão referente à periodicidade das atividades, sendo necessária uma adequação em relação às prioridades e ao que pode ser executado pelo técnico de manutenção em suas visitas. Por contrato, a empresa de manutenção dos elevadores deve fazer uma visita mensal para manutenção dos equipamentos. Porém, o profissional tem diversas atividades a serem executadas nessas visitas e outros componentes a serem revisados e avaliados além dos presentes nos sistemas escolhidos neste trabalho, o que torna o tempo disponível escasso. Portanto, foi feito um plano de manutenção que considerasse estes fatores, estimando um tempo necessário para a visita mensal de uma hora em meia, sendo uma hora totalmente dedicada a estes sistemas, que são críticos.

Para a definição da periodicidade dos serviços, foram consideradas a análise de efeito e consequência de falha e o tipo de atividade recomendada no diagrama de decisão para consequência de modo de falha de Lafraia, (2001), a importância dos componentes para a segurança de operação e dos usuários e também o histórico do equipamento, presente no apêndice III. Além disso, a praticidade da atividade para o técnico também foi um fator importante, pois alguns dos componentes ficam muito próximos um do outro, tornando a inspeção simultânea aconselhável do ponto de vista prático.

As atividades estão divididas entre mensais, para os componentes com falhas mais frequentes e críticos para a segurança de operação e usuários, trimestrais para os componentes menos sujeitos a falhas e semestrais para componentes que tiveram apenas três ou menos ocorrências de falhas no período analisado. Além disso, devido à alta taxa de falhas e sua constante chegada ao fim da vida útil, como detectado pela análise de Weibull, o contato CPC está sujeito a substituições programadas anualmente, no intuito de evitar paradas desnecessárias e garantir a segurança, bem como o fecho eletromecânico, que sofrerá substituições bianualmente. A Tabela 6 mostra o plano de manutenção que deve ser adotado.

Tabela 6: Plano de manutenção

Sistema	Componente	Descrição	Periodicidade
Operador de porta de cabina	Contato LPA	Teste de funcionamento do contato, limpeza	Mensal
	Contato CPC	Teste de funcionamento do contato, limpeza, medição da espessura do contato	Mensal
	Corrediças de porta de cabina	Medição da espessura da corrediça e fixação a estrutura	Mensal
	Barreira eletrônica	Teste de funcionamento, limpeza	Mensal
	Roldanas	Medição do desgaste, análise visual para procurar rachaduras, teste de rolamento	Trimestral
	Correia	Inspeção visual para procurar sinais de desgaste, teste tátil, verificação de alinhamento e tensão	Trimestral
	Cabo transportador	Inspeção visual para procurar sinais de desgaste, teste tátil, verificação de alinhamento e tensão	Trimestral
	Motor de porta de cabina	Inspeção auditiva e visual para procurar ruídos anormais e sinais de desgaste.	Trimestral
	Dispositivo do arraste	Teste de funcionamento do contato, limpeza, medição de desgaste e pressão das molas	Semestral
	Contato CPC	Substituição	Anual
Freio da máquina	Lona de freio	Medição de espessura da lona, avaliação de desgastes nas sapatas	Bimestral
	Mola	Avaliação da tensão na mola pela parada do elevador, avaliação visual a procura de desgastes	Semestral
	Bobina	Teste de funcionamento, medição de resistência	Semestral
	Articulação	Inspeção visual a procura de sinais de desgaste, aperto de parafusos, avaliação de fixação a estrutura	Semestral
Porta de pavimento automática	Fecho Eletromecânico	Teste de funcionamento do contato, limpeza, medição da espessura do contato, teste de mobilidade das articulações	Mensal
	Corrediças de porta de pavimento	Medição da espessura da corrediça e fixação a estrutura	Mensal
	Cabo transportador	Inspeção visual para procurar sinais de desgaste, teste tátil, verificação de alinhamento.	Trimestral
	Roldanas	Medição do desgaste, análise visual para procurar rachaduras, teste de rolamento	Trimestral
	Fecho Eletromecânico	Substituição	Bianual

5 Conclusões

A manutenção de elevadores é um setor da engenharia que segue um padrão há anos, sendo reservada a inovação apenas para a parte eletrônica, com sensores remotos de componentes específicos, um sistema caro e pouco efetivo do ponto de vista de funcionalidade, presente apenas em poucos modelos de elevadores de alto padrão, que ainda estão longe de estarem disponíveis para a maioria da população, que utiliza em grande parte modelos antigos ou modernizados. Portanto, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) destaca-se como um método de grande utilidade na otimização da gestão destes equipamentos. A abordagem baseada nas funções essenciais de um equipamento oferece um enfoque organizado na definição de planos de manutenção, embora sua implementação seja trabalhosa. Juntamente com a MCC, a análise de Weibull emerge como uma ferramenta valiosa para aprimorar a confiabilidade do equipamento, especialmente quando se concentra em um modo de falha específico. Ao combinar a MCC com a análise de Weibull, obtém-se uma avaliação abrangente da vida do equipamento por meio dos parâmetros β e λ , permitindo direcionar estratégias de manutenção com embasamento sólido. Ao identificar que o componente crítico está chegando ao fim de sua vida útil, pode-se tomar medidas necessárias para mitigar o problema e aumentar a disponibilidade do equipamento. A aplicação conjunta destas metodologias proporciona visões detalhadas do funcionamento do equipamento e, ao mesmo tempo, orienta a tomada de decisões para aumentar sua confiabilidade e longevidade.

Por ter sido definido a partir da análise de falhas, o plano de manutenção vai aumentar a disponibilidade do equipamento para os usuários e garantir a segurança da operação. Além disso, a empresa responsável pela manutenção dos elevadores obtém eficiência em seus serviços, devido ao maior foco dos técnicos em prevenção de defeitos, diminuindo o tempo despendido em atendimento de emergências. Um fator preponderante na implementação desse plano é o treinamento dos funcionários, que terão que reaprender a fazer a manutenção dos componentes, sendo necessário não apenas um treinamento informativo, mas também prático e com necessidade de acompanhamento de perto da supervisão.

A metodologia que foi posta em prática neste trabalho pode ser utilizada nos outros sistemas dos elevadores, como corrediças de cabina e contra peso e na própria máquina de tração, proporcionando diversas vantagens para as empresas de manutenção de elevadores, como previsibilidade de gastos com peças e tempo de manutenção, além de direcionar o treinamento das equipes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.597/2008 - Requisitos de segurança para a construção e instalação de elevadores - Elevadores existentes. Rio de Janeiro. 2008

BACKLUND, F. Managing the Introduction of Reliability-Centred Maintenance, Lulea University of Technology. Lulea, 2003.

BARBOSA, H. P. B. Utilização da busca harmônica no ajuste da curva de Weibull em energia eólica. 2016. Dissertação de Pós-Graduação. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2016.

BLOOM, N. (Red.) (2006). Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple. New York: McGraw-Hill.

BUENO, Edson Roberto Ferreira. Gestão da Manutenção de Máquinas. Curitiba: Contentus, 2020.

Catálogo de produtos Fermator, 2021.

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

LAFRAIA, J.R.B.; "Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade", Qualitymark Editora Ltda, 1ª edição, 2001.

MOUBRAY, J.; "Manutenção Centrada em Confiabilidade", Edição brasileira, Editora Aladon Ltd, 2ª impressão, 2003.

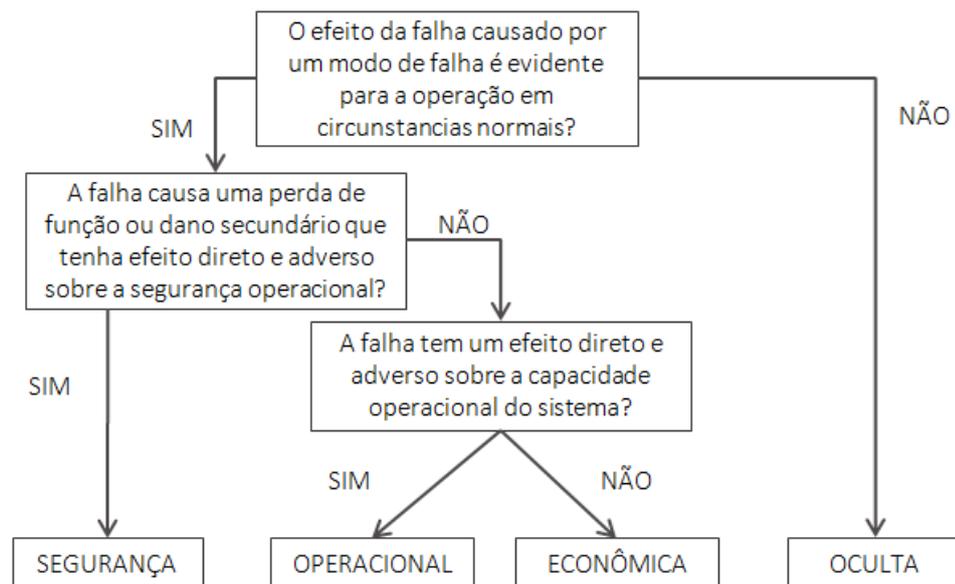
ROUSSENQ, Francisco R. Plano de Manutenção para uma Prensa Hidráulica de Borracha Utilizando o Método de Manutenção Centrado na Confiabilidade Monografia de Fim de Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

SIQUEIRA, Y. P. D. S. Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação. 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

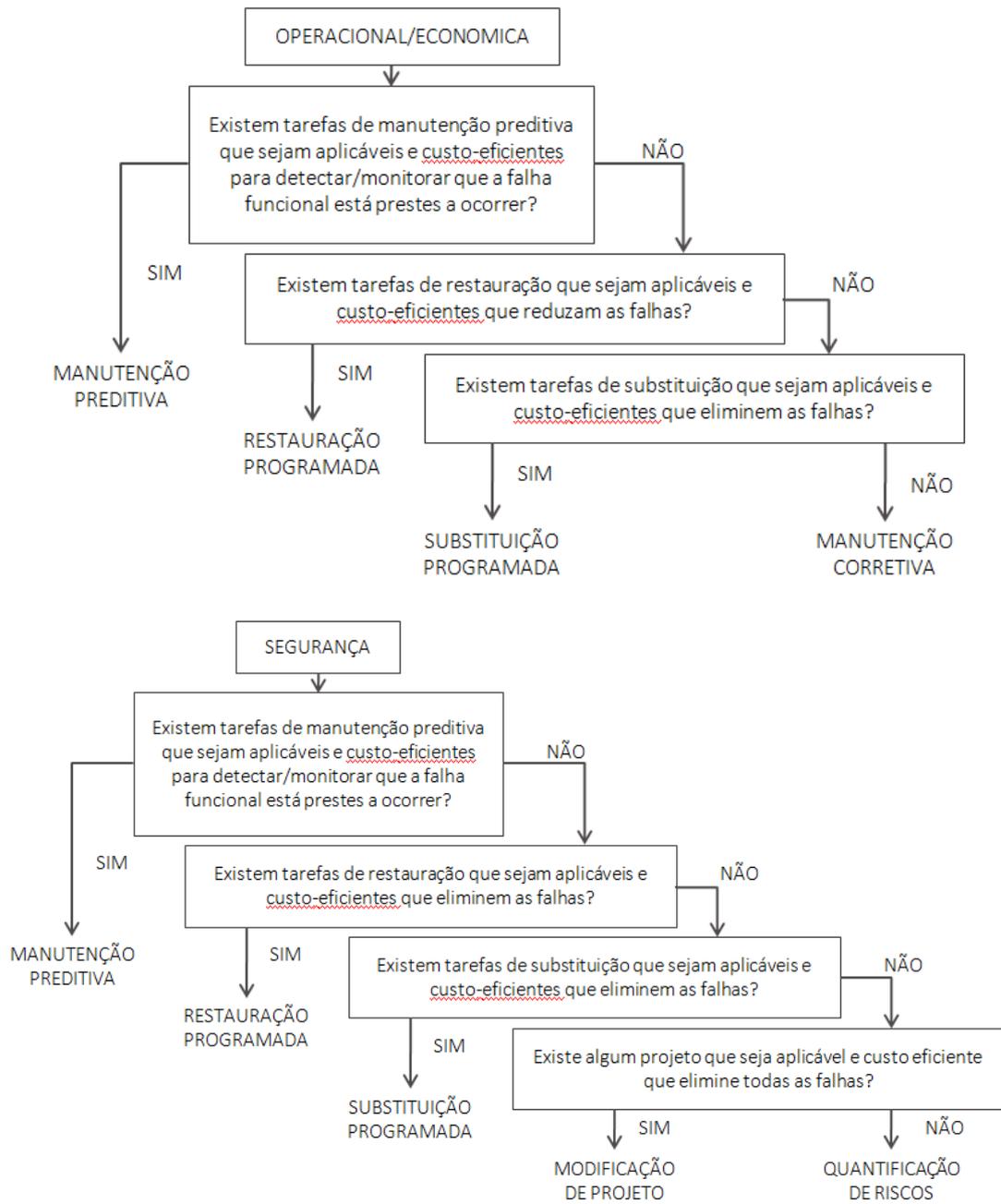
SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. RCM: Gateway to World-Class Maintenance. 2ª ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, v. 1, 2004. ANEXO

ANEXO

Anexo I – Diagrama de decisão para consequência de modo de falha. Fonte: Lafraia, 2001, p.268.



Anexo II – Diagrama de decisão para tipo de atividade de manutenção. Fonte: Lafraia, 2001, p. 270, 272 e 271.



APÊNDICE

Apêndice I – Análise de modos de efeitos de falha FMEA

Sistema	Função	Falhas funcionais	Modo de falha	Efeito de falha
Operador de porta de cabina	Controle de abertura e fechamento das portas de cabina e pavimento	Não abrir a porta corretamente	Rompimento da correia	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h
			Rompimento do cabo transportador	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 6h
			Falha no motor de porta de cabina	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h
			Falha no contato LPA	Comando não recebe a informação de abertura da porta de cabina. Parada: 5h
			Quebra da roldana	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h
		Não fechar a porta corretamente	Rompimento da correia	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h

			Rompimento do cabo transportador	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 6h
			Falha no contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h
			Quebra da roldana	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h
	Abertura e fechamento da porta de pavimento	Não abrir a porta quando a cabina estiver no pavimento	Falha no dispositivo do arraste	Folga por desgaste devido ao uso. Parada: 6h
	Informar ao comando a posição das portas de cabina e pavimento	Sinal de porta fechada não ser enviado ao comando quando a porta está fechada	Falha no Contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h
	Impedir a abertura da porta de cabina quando em viagem	Abrir a porta quando em viagem	Falha no Contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h
	Não causar dano as portas	Causar danos a porta devido a falhas de componentes	Desgaste das corredeiras de porta de cabina	Porta trancando, raspando entre si. Parada: 2h
			Desgaste das roldanas	Porta trancando, raspando entre si. Parada: 2h
	Impedir o fechamento da porta quando houver pessoas ou objetos em cima da soleira	Fechar a porta quando existem obstáculos sobre a soleira	Falha na barreira eletrônica	Possibilidade de danos a objetos ou pessoas. Parada: 3h
		Não fechar a porta apesar de não haver obstáculos para seu fechamento		Falha no circuito de segurança. Parada: 3h
Freio da máquina	Manter o elevador para após o desligamento do motor de tração	Não fechar a sapata quando o sinal for recebido pelo comando	Falta de pressão na mola	Nivelamento incorreto. Parada: 1h
			Falha na bobina	Freio não funciona. Parada: 6h
			Falha na articulação	Funcionamento incorreto do freio. Parada: 1h
		Deslizamento do tambor	Desgaste na lona de freio	Nivelamento incorreto. Parada: 4h
	Abrir as sapatas para possibilitar o movimento da cabina	Não abrir a sapata quando for recebido o sinal do comando	Excesso de pressão da mola	Freio não funciona, elevador parado. Parada: 1h
Porta de pavimento automática	Abertura e fechamento da porta de pavimento	Não abrir a porta corretamente	Rompimento do cabo transportador	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 6h
			Quebra da roldana	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 2h
		Não fechar a porta corretamente	Rompimento do cabo transportador	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 6h
			Quebra da roldana	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 2h
	Impedir a abertura da porta sem a presença do elevador no pavimento	Abrir a porta sem a presença da cabina no pavimento	Falha no fecho eletromecânico	Falha no circuito de segurança. Parada: 4h
	Manter a integridade estrutural da porta de pavimento	Causar danos a porta devido a falhas de componentes	Falha nas corredeiras de porta de pavimento	Porta trancando, raspando entre si. Parada: 2h
			Rompimento de cabo transportador	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 6h
			Quebra de roldana	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 2h

Apêndice II – Consequências de falha e tipos de atividade de manutenção

Sistema	Modo de falha	Efeito de falha	Consequência de falha	Tipo de atividade de manutenção
Operador de porta de cabina	Rompimento da correia	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
	Rompimento do cabo transportador	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 6h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
	Falha no motor de porta de cabina	Impede o movimento da porta de cabina. Parada: 4h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva

	Falha no contato LPA	Comando não recebe a informação de abertura da porta de cabina. Parada: 5h	OPERACIONAL	Substituição Programada
	Falha no dispositivo do arraste	Folga por desgaste devido ao uso. Parada: 6h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
	Falha no Contato CPC	Comando não recebe a informação de fechamento da porta de cabina. Parada: 4h	SEGURANÇA	Substituição Programada
	Desgaste das corredeiras de porta de cabina	Porta trancando, raspando entre si. Parada: 2h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
	Desgaste das roldanas	Porta trancando, raspando entre si Parada: 2h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
	Falha na barreira eletrônica	Possibilidade de danos a objetos ou pessoas Parada: 3h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
		Falha no circuito de segurança Parada: 3h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
Freio da máquina	Falta de pressão na mola	Nivelamento incorreto. Parada: 1h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
	Falha na bobina	Freio não funciona. Parada: 6h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
	Falha na articulação	Funcionamento incorreto do freio. Parada: 1h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
	Desgaste na lona de freio	Nivelamento incorreto. Parada: 4h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
	Excesso de pressão da mola	Freio não funciona. Parada: 1h	SEGURANÇA	Manutenção Preditiva
Porta de pavimento automática	Rompimento da cabo transportador	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 6h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
	Quebra da roldana	Impede o movimento da porta de pavimento. Parada: 2h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva
	Falha no fecho eletromecânico	Falha no circuito de segurança Parada: 4h	SEGURANÇA	Substituição Programada
	Falha nas corredeiras de porta de pavimento	Porta trancando, raspando entre si. Parada: 2h	OPERACIONAL	Manutenção Preditiva

Apêndice III – Histórico de falhas dos sistemas

Sistema	Componente	Aquisição	Avaria	Período (dias)
Freio da Máquina de Tração	Lonas de freio	01/10/2006	15/08/2011	1754
	Lonas de freio	13/04/2008	01/12/2016	3108
	Lonas de freio	01/03/2010	31/07/2022	4470
	Bobina do freio	01/02/2009	01/02/2014	1800
	Bobina do freio	01/02/2014	01/11/2016	990
	Bobina do freio	01/11/2016	01/01/2017	60
Operador de porta de cabina	Arraste	01/11/2010	24/08/2016	2093
	Arraste	24/08/2016	27/03/2023	2373
	Barreira eletrônica	01/05/2009	06/06/2012	1115
	Barreira eletrônica	06/06/2012	08/02/2015	962
	Barreira eletrônica	08/02/2015	01/05/2018	1163
	Barreira eletrônica	01/05/2018	01/08/2022	1530
	Cabo Transportador	01/10/2009	01/09/2013	1410
	Cabo Transportador	01/09/2013	03/05/2019	2042
	Cabo Transportador	03/05/2019	01/10/2022	1228
	Contato do operador de porta de cabina LPA	01/12/2007	01/06/2010	900
	Contato do operador de porta de cabina LPA	01/06/2010	01/04/2013	1020

	Contato do operador de porta de cabina LPA	01/04/2013	01/05/2018	1830
	Contato do operador de porta de cabina LPA	01/05/2018	05/04/2019	334
	Contato do operador de porta de cabina LPA	05/04/2019	01/02/2023	1376
	Contato CPC	01/02/2007	01/03/2008	390
	Contato CPC	01/03/2008	01/03/2010	720
	Contato CPC	01/03/2010	01/05/2013	1140
	Contato CPC	01/05/2013	01/05/2015	720
	Contato CPC	01/05/2015	20/07/2016	439
	Contato CPC	20/07/2016	23/12/2016	153
	Contato CPC	23/12/2016	02/06/2018	519
	Contato CPC	02/06/2018	19/09/2020	827
	Contato CPC	19/09/2020	23/10/2021	394
	Contato CPC	23/10/2021	02/04/2022	159
	Contato CPC	02/04/2022	23/12/2022	261
	Correção de porta de cabina	05/06/2007	01/07/2008	386
	Correção de porta de cabina	01/07/2008	01/07/2011	1080
	Correção de porta de cabina	01/07/2011	01/09/2013	780
	Correção de porta de cabina	01/09/2013	01/10/2014	390
	Correção de porta de cabina	01/10/2014	01/12/2017	1140
	Correção de porta de cabina	01/12/2017	03/08/2020	962
	Correção de porta de cabina	03/08/2020	01/10/2022	778
	Correia do operador de porta de cabina	01/04/2009	01/10/2011	900
	Correia do operador de porta de cabina	01/10/2011	01/12/2020	3300
	Correia do operador de porta de cabina	01/12/2020	01/06/2023	900
	Correia do operador de porta de cabina	01/08/2010	01/10/2017	2580
	Correia do operador de porta de cabina	01/10/2017	01/10/2022	1800
	Roldana do operador de porta de cabina	01/04/2009	01/04/2013	1440
	Roldana do operador de porta de cabina	01/04/2013	01/06/2015	780
	Roldana do operador de porta de cabina	01/06/2015	01/12/2016	540
	Roldana do operador de porta de cabina	01/12/2016	29/11/2019	1078
	Roldana do operador de porta de cabina	29/11/2019	01/12/2021	722
Porta de pavimento	Fechador Eletromecânico	01/03/2007	01/10/2011	1650
	Fechador Eletromecânico	01/10/2011	01/04/2014	900
	Fechador Eletromecânico	01/04/2014	16/04/2019	1815
	Fechador Eletromecânico	16/04/2019	24/12/2021	968
	Fechador Eletromecânico	24/12/2021	21/03/2022	87
	Correção de porta de pavimento	01/01/2009	05/01/2011	724
	Correção de porta de pavimento	05/01/2011	07/08/2014	1292
	Correção de porta de pavimento	07/08/2014	30/01/2020	1973
	Correção de porta de pavimento	30/01/2020	01/11/2022	991
	Roldana do operador de porta de pavimento	12/07/2007	01/05/2009	649
	Roldana do operador de porta de pavimento	01/05/2009	01/06/2013	1470
	Roldana do operador de porta de pavimento	01/06/2013	01/06/2015	720
	Roldana do operador de porta de pavimento	01/06/2015	01/08/2019	1500
	Roldana do operador de porta de pavimento	01/08/2019	20/01/2020	169
	Roldana do operador de porta de pavimento	20/01/2020	01/06/2022	851