



PECE – TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ALÉCIO HIRANO
GABRIEL DE PAULA OLIVEIRA
WALDOMIRO PUGLIA JUNIOR

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE:
APLICAÇÃO PARA MELHORIA DE DISPONIBILIDADE DO SISTEMA
DE VENTILAÇÃO PRINCIPAL**

São Paulo
2012

**ALÉCIO HIRANO
GABRIEL DE PAULA OLIVEIRA
WALDOMIRO PUGLIA JUNIOR**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE:
APLICAÇÃO PARA MELHORIA DE DISPONIBILIDADE DO SISTEMA
DE VENTILAÇÃO PRINCIPAL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Tecnologia Metroferroviária.

**São Paulo
2012**

**ALÉCIO HIRANO
GABRIEL DE PAULA OLIVEIRA
WALDOMIRO PUGLIA JUNIOR**

**MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE:
APLICAÇÃO PARA MELHORIA DE DISPONIBILIDADE DO SISTEMA
DE VENTILAÇÃO PRINCIPAL**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Tecnologia Metroferroviária.

Áreas de Concentração:
Engenharias Mecânica e Elétrica

Orientador:
Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de
Souza

**São Paulo
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA

Hirano, Alécio

Manutenção centrada em confiabilidade: aplicação para melhoria de disponibilidade do sistema de ventilação principal / A. Hirano, G.P. Oliveira, W. Puglia Jr. -- São Paulo, 2012.

74 p.

Monografia (Especialização em Tecnologia Metroferroviária). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1.Manutenção produtiva total (Confiabilidade) 2.Sistemas de ventilação I.Oliveira, Gabriel de Paula II. Puglia Jr, Waldomiro III.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia IV.t.

DEDICATÓRIA

As nossas esposas, Ana Lúcia, Luciana e Denise, aos nossos filhos William, Sabrina, Caroline e João Paulo, e aos nossos pais e avós, por todo amor, carinho, incentivo, dedicação, compreensão de nossas ausências durante a elaboração deste trabalho, dedicamos esta conquista com eterna gratidão e muito amor.

Em memória ao nosso saudoso amigo, Sergio Massaru Kitamura, exemplo de dedicação, capacidade e alegria.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Gilberto Francisco Martha de Souza, pela dedicação, orientação e constante estímulo transmitido durante todo o processo de elaboração do trabalho.

Ao coordenador do Curso de Especialização em Tecnologia Metroferroviária, Prof. Dr. Ivan Eduardo Chabu, sempre solícito e compreensivo às nossas dificuldades.

Aos professores, colegas e integrantes do curso de especialização em Tecnologia Metroferroviária no PECE, que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

Aos colaboradores da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, pela oportunidade de realização e pela compreensão de nossas ausências, principalmente ao Agostinho Minicuci Jr., Nelson Scaglione, Marcelo Tobias, Ricardo Novaes, Eduardo Fukuda, Hilton Romeo Quinzan e Antônio Marcio Barros.

Aos colaboradores da Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô, pela orientação, dedicação e colaboração, principalmente ao José Florentino, Joaquim B. Macedo, Carlos Rangel, Kazuo e Reinaldo Keiji.

... o nosso muito obrigado a todos !!!

*“Uma jornada de duzentos quilômetros
começa com um simples passo”*

Provérbio Chinês

RESUMO

O trabalho apresenta um sequenciamento de atividades para o entendimento , bem como elaboração de políticas de manutenção eficientes e eficazes, visando aumentar a disponibilidade dos Sistemas de Ventilação Principal do Metrô de São Paulo em instalação, baseado na experiência acumulada dos equipamentos em funcionamento. Utilizou-se no desenvolvimento do estudo ferramentas qualitativas e quantitativas, adotando-se a árvore funcional como o ponto de partida para o entendimento do equipamento. A elaboração do FMEA para priorização dos modos de falha relevantes e o modelamento matemático do comportamento das falhas para a compreensão e previsão de ocorrências futuras, com o auxílio de ferramenta computacional de confiabilidade. O estudo resulta em um plano de ação para a correção de desvios nas práticas realizadas, propondo formas de se dimensionar quadro de colaboradores, política de aquisição de sobressalentes eficientes, e metas de desempenho tangíveis.

Palavras-chave: Manutenção. Sistema de Ventilação. Árvore Funcional. Confiabilidade. Disponibilidade.

ABSTRACT

The paper presents a sequencing of activities for understanding and development of efficient policy of maintenance to increase the availability of the Ventilation Systems of the Metro from São Paulo in the new installations, based on the accumulated experience of the equipment in operation. It was used in developing of the study, qualitative and quantitative tools, adopting a functional tree as the starting point for understanding of the equipment. The elaboration of FMEA for prioritization of the relevant failure modes and subsequent mathematical modeling of the behavior of failures for the understanding and prediction of future events with the aid of computational tool of reliability. The study results in a plan of action to correct deviations in the practices carried out by proposing ways to dimension number of employees, spare parts, and possible performance targets.

Keywords: Maintenance. Ventilation System. Functional Tree. Reliability. Availability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquemático com disposição dos ventiladores numa estação típica de metrô	2
Figura 2 - Diagrama simplificado do Sistema Principal de Ventilação do trecho Zuquim a Tucuruvi	3
Figura 3 - Fotos acidente na geleira de <i>Kitzsteinhorn</i> , Áustria.....	5
Figura 4 - Fluxograma da Organização do Trabalho e Ações a serem Executadas	7
Figura 5 - Árvore Funcional Jato Ventilador	10
Figura 6 - Modelo de Função de Confiabilidade	17
Figura 7 - Modelo de Função de Probabilidade de Falha Acumulada	17
Figura 8 - Curva da banheira	19
Figura 9 – Modelo de Função de Densidade de Probabilidade	22
Figura 10 – Modelo de função de densidade de probabilidade (RELIASOFT, 2012).....	23
Figura 11 – Modelo de função de densidade de probabilidade (RELIASOFT, 2012).....	24
Figura 12 – Influência do parâmetro de forma na taxa de falha (RELIASOFT, 2012)	25
Figura 13 – Influência do parâmetro de forma na taxa de falha (RELIASOFT, 2012)	26
Figura 14 – Árvore de funções do sistema de ventilação principal com a divisão em três (3) subsistemas	27
Figura 15 – Árvore de Funções do Subsistema Mecânico	28
Figura 16 – Árvore de Funções do Subsistema Elétrico (Exaustores do Túnel)	29
Figura 17 – Árvore de Funções do Subsistema Elétrico (Exaustores da Estação)	30
Figura 18 – Árvore de Funções do Subsistema Elétrico (jatos ventiladores)	31
Figura 19 – Árvore de Funções do Subsistema Controle	33
Figura 20 – Gráfico de Pareto de falhas no sistema de ventilação principal da linha 2-Verde, no período de 2008 a 2012	34
Figura 21 – Gráfico de falhas com detalhamento dos diversos desvios, do período de 2008 a 2012, no sistema de ventilação principal da linha 2-Verde.....	35
Figura 22 – Gráfico de falhas do período de 2008 a 2012, referente aos componentes mecânicos, no sistema de ventilação principal da linha 1-Azul	36

Figura 23 – Gráfico de Defeitos Detectados em Manutenção (DM) do período de 2008 a 2012, referentes aos componentes mecânicos, no sistema de ventilação principal da linha 1-Azul.....	36
Figura 24 - Curva da função da confiabilidade da veneziana – Weibull II – todas as falhas.....	41
Figura 25 - Curva da função da confiabilidade da veneziana – Weibull III - até 1º falha	42
Figura 26 - Curva da função da confiabilidade da veneziana – Weibull II - até 1º falha	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - FMEA simplificado	12
Tabela 2 - Critérios para decisão no FMEA.....	14
Tabela 3 - Funções dos Componentes Mecânicos.....	33
Tabela 4 - Totalização das Falhas + DM do período de 2002 a 2012, referente aos componentes mecânicos, no sistema de ventilação principal da linha 1-Azul.....	37
Tabela 5 – Tabela de falhas de venezianas por ventilador da linha 1-Azul	38
Tabela 6 - Falhas por equipamento, referente aos componentes mecânicos, linha 1-Azul	40
Tabela 7 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull.....	41
Tabela 8 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull	42
Tabela 9 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull.....	43
Tabela 10 - Análise modo de falha veneziana.....	45
Tabela 11 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull	46
Tabela 12 - Probabilidade de falha para tempo de serviço – Weibull	46
Tabela 13 - Número de falhas esperadas em 365 dias – Weibull.....	47
Tabela 14 - Tempo de intervenção médio para venezianas	48
Tabela 15 - H x h para atendimento de falhas no período de um ano - Veneziana	48
Tabela 16 – Análise de mão de obra (Hxh) em ocorrências de portas entre canais de ventilação	55

LISTA DE SIGLAS

AIP	Estação Alto do Ipiranga
ANR	Estação Ana Rosa
BTO	Estação São Bento
CCM	Centro de Controle de Motores
CCO	Centro de Controle Operacional
CKB	Estação Chácara Klabin
CLI	Estação Clínicas
CLP	Controlador Lógico Programável
CMSP	Companhia do Metropolitano de São Paulo
CON	Estação Conceição
DE	Disjuntor de Entrada
DS	Disjuntor de Saída
DT	Disjuntor “TIE”
E/S	Entradas e Saídas
EE	Exaustor da Estação
ET	Exaustor do Túnel
FMEA	Análise e Modos de Efeitos de Falhas (<i>Failure Modes and Effect Analysis</i>)
GGD	Grupo Gerador Diesel
GIA	Gestão Integrada de Ativos
GMT	Gerência de Manutenção do Metrô – SP
GOP	Gerência de Operações do Metrô – SP
IHM	Interface Homem Máquina (Display)
JPA	Estação Jardim São Paulo (subterrânea)
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas (<i>Mean Time Between Failure</i>)
PCL	Painel de Comando Local

PCRE	Painel de Comando Resfriador Evaporativo
PIF	Painel do Inversor de Frequência
PIG	Estação Parada Inglesa (elevada)
PREE	Painel Remoto Exaustor da Estação
PSO	Estação Paraíso
PTI	Pátio Tamanduateí
PV	Poço de Ventilação
PV/SE	Poço de Ventilação / Saída de Emergência
JQM	Estação Liberdade
RV	Registro das Venezianas
SAC	Estação Sacomã
SAN	Estação Santana
SCZ	Estação Santa Cruz
SDVP	Sistema Digital da Ventilação Principal
SDVP-E	Sistema Digital da Ventilação Principal – Escravo
SDVP-M	Sistema Digital da Ventilação Principal – Mestre
SE	Saída de Emergência
SIGMA	Sistema de Informações Gerenciais da Manutenção
SSO	Sala de Supervisão Operacional da Estação
TRD	Estação Tiradentes
TUC	Estação Tucuruvi (subterrânea)
UV	Unidade de Ventilação
VGO	Estação Vergueiro
VMD	Estação Vila Madalena
VMN	Estação Vila Mariana
VPT	Estação Vila Prudente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	4
1.2 JUSTIFICATIVA	4
1.3 MOTIVAÇÕES PARA O TRABALHO	6
1.4 ORGANIZAÇÕES DO TRABALHO	7
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
2.1 ÁRVORE FUNCIONAL	9
2.2 ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHA (FMEA)	10
2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - MCC	15
2.3.1 DEFINIÇÃO DE FALHA E CONFIABILIDADE	15
2.3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA	20
2.3.3 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE	21
2.3.4 MODELO DE WEIBULL	23
3 DESENVOLVIMENTO	27
3.1 ÁRVORE FUNCIONAL	27
3.2 DADOS DE FALHA	34
3.3 ANÁLISE DOS DADOS DE FALHA	40
3.4 DIAGNÓSTICO	44
3.5 ANÁLISE DOS DADOS COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 ANÁLISE DAS FALHAS NO SISTEMA DE VENEZIANAS	53
4.2 ESTUDOS DO IMPACTO DAS INTERVENÇÕES NAS PORTAS DE CANAIS E ENTRE CANAIS DE VENTILAÇÃO	54
5 CONCLUSÕES	56
5.1 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE	62
A.1 Árvore de funções do Sistema de Ventilação Principal	62

A.1.1 Divisão em três (3) partes - Sistema Mecânico, Elétrico e de Controle	62
A.1.2 Árvore de Funções - Sistema Mecânico (ventilador axial de túnel)	63
A.1.3 Árvore de Funções - Sistema Mecânico (jato ventilador de túnel).....	64
A.1.4 Árvore de Funções - Sistema Elétrico (jatos ventiladores)	65
A.2 FMEA - Sistema Mecânico	66
A.2.1 - Componente Coxim	66
A.2.2 Componente - Junta Flexível	66
A.2.3 Componente - Difusor	67
A.2.4 Componente - Cubo.....	67
A.2.5 Componente - Pás	67
A.2.6 Componente - Pás Diretrizes	68
A.2.7 Componente - Motor Redutor Veneziana.....	68
A.2.8 Componente - Veneziana (haste + bucha).....	69
A.2.9 Componente - Micro Veneziana Fechada	69
A.2.10 Componente - Micro Sensor Veneziana Aberta	70
A.2.11 Componente - Sensor de Temperatura do Mancal	70
A.2.12 Componente - Sensor de Temperatura do Estator.....	71
A.2.13 Componente - Sensor de Vibração	71
A.2.14 Componente - Sensor de Temperatura de Ambiente Interno	72
A.2.15 Componente - Lubrificantes dos Mancais do Motor	72
A.2.16 Componente - Motor	73
A.3 CONCEITUAÇÃO SOBRE O BANCO DE DADOS DA GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO DO METRÔ-SP	74
A.3.1 CÓDIGO DE DIAGNÓSTICO PARA FECHAMENTO DAS OCORRÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

A Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ é uma empresa que se destina ao transporte público de massa na região metropolitana de São Paulo, com uma média de quatro (4) milhões de usuários/dia distribuídos em suas quatro linhas. Para cumprir seu compromisso público de transportar passageiros com segurança, conforto e sem atrasos, faz-se necessário garantir a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos que compõem o sistema metroviário. O Metrô possui atualmente quatro (4) linhas em funcionamento; as linhas 1-Azul, 2-Verde, 3-Vermelha e 5-Lilás. A manutenção dos diversos equipamentos fixos (estação), material rodante e sistemas eletromecânicos são executados em quatro (4) pátios localizados ao longo das suas linhas de operação, os quais são: Jabaquara, Itaquera, Capão Redondo além do recente Pátio Tamanduateí. Nestes locais são realizadas as manutenções nos trens de suas frotas bem como dos demais equipamentos de estação, como o sistema de ventilação principal de túneis e estações, que será estudado neste trabalho.

O Sistema de Ventilação Principal tem como finalidade remover o ar quente das estações e túneis do metrô mantendo esses locais com nível de temperatura condizente com o conforto térmico e com as especificações de funcionamento dos equipamentos elétricos e eletrônicos. Paralelamente, em situações de anormalidade, como presença de fumaça ou outro tipo de poluente, o sistema efetua a exaustão desses agentes para o exterior. O sistema efetua ainda um controle da velocidade do ar nas estações que sofrem os efeitos da pressão do ar decorrente do movimento dos trens (efeito pistão).

A movimentação do ar nas estações é feita através dos canais de insuflamento, de exaustão, acessos, aberturas entre os diversos níveis, poços de alívio e entrada para os túneis.

Nas estações, geralmente, existem dois (2) ventiladores funcionando como insufladores e um (1) como exaustor de ar. Já nos túneis há locais específicos, denominados saídas de ventilação (SV), onde ficam localizados dois (2) ventiladores operando como exaustores de ar.

Os Sistemas de Ventilação que serão estudados dentro do escopo deste trabalho estão sendo instalados na Linha 1 – Azul do Metrô, na região que compreende o trecho entre as estações Santana à Tucuruvi (extensão norte). Os locais a serem atendidos por estes sistemas de ventilação principal são basicamente as áreas de circulação e permanência de público nas estações (acessos, mezaninos, escadas, plataformas) e os túneis de via onde circulam os trens.

A configuração e dimensionamento do sistema em estudo são determinados pelos fatores: carga térmica, renovação de ar e situações de emergência.

O Sistema de Ventilação projetado manterá os ambientes das estações e dos túneis em depressão, em relação ao exterior. A figura 1 detalha um sistema de ventilação típico existente na linha.

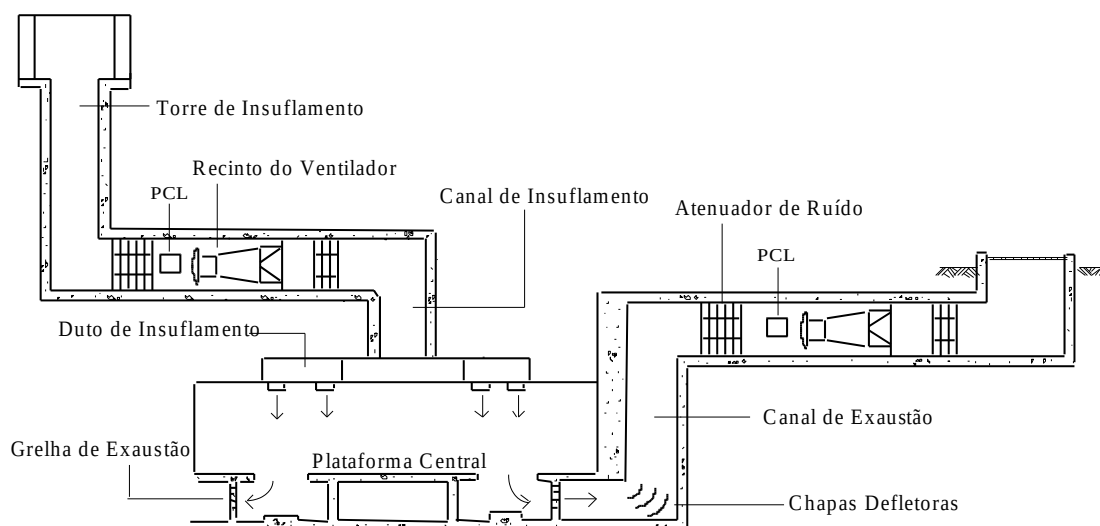


Figura 1 - Esquemático com disposição dos ventiladores numa estação típica de metrô

Das três (3) estações mencionadas da região da zona norte da cidade de São Paulo, uma (1) é elevada (Parada Inglesa) e as outras duas (2) são semienterradas (Jardim São Paulo e Tucuruvi). As estações em elevado não necessitam de sistema de ventilação mecânica e as semienterradas, devido às grandes áreas abertas para o exterior, podem dispensar o emprego do sistema de insuflação forçada, utilizando apenas o sistema de exaustão. O ar fresco penetra nessas estações pelas grandes áreas abertas para o exterior e devido ao efeito da depressão causada pelos ventiladores de exaustão da estação e do túnel.

No caso do túnel entre as estações Santana e Jardim São Paulo, a exaustão é feita, através do poço de ventilação (PV) e saída de emergência (SE), situados entre essas duas estações e denominado de PV/SE Zuquim. Esse poço é constituído por canais de concreto onde estão localizados os ventiladores e respectivos absorvedores de ruído, sendo o ar lançado para o exterior através de uma torre de ventilação existente.

Já nos túneis existentes entre a estação Jardim São Paulo e Parada Inglesa e, entre a estação Parada Inglesa e Tucuruvi, a ventilação será feita por meio de jatos-ventiladores fixados no teto dos túneis. Estes equipamentos ainda estão em fase de instalação. A figura 2 mostra um diagrama do trecho mencionado.

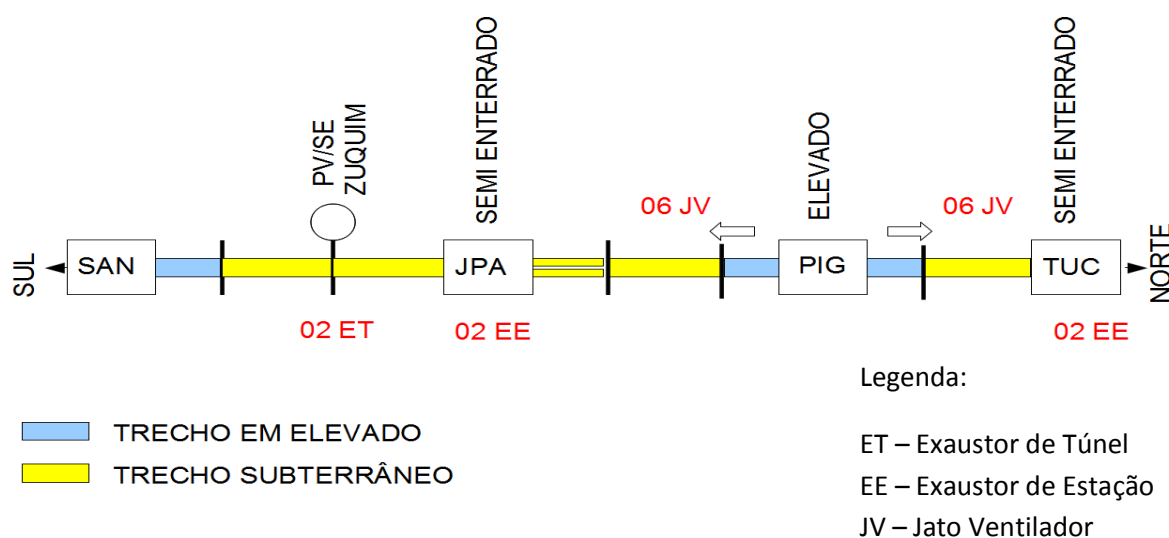


Figura 2 - Diagrama simplificado do Sistema Principal de Ventilação do trecho Zuquim a Tucuruvi

Em situações de emergência (com ou sem trens em circulação), a operação dos ventiladores ficará condicionada às necessidades do momento, prevendo-se inclusive, a possibilidade de inversão de sentido do fluxo de ar nos exaustores dos túneis, através da reversão da rotação dos respectivos motores elétricos. Os exaustores das estações Jardim São Paulo e Tucuruvi terão vazão fixa, sem reversão de rotação.

Este trabalho apresenta uma metodologia para auxiliar na tomada de decisão da manutenção a fim de melhorar a disponibilidade de seus ativos, bem como prever recursos necessários para a gestão dos ativos.

1.1 OBJETIVO

O objetivo do presente estudo será definir um plano de manutenção adequado para manter a disponibilidade requerida para o sistema de ventilação, visando: identificar os componentes críticos, estabelecer uma metodologia para o fornecimento de documentação de CDMS (Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenabilidade e Segurança) para equipamentos eletromecânicos nos futuros fornecimentos, propor metas de desempenho adequadas ao projeto implantado e estruturar o apontamento de falhas para revisões do plano de manutenção adotado.

1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema está no fato da importância do sistema de ventilação em situações de emergência (exemplo: incêndios) em locais de grande acúmulo de pessoas, como o ocorrido na estação de esqui na geleira de *Kitzsteinhorn*, Áustria, onde a presença de um Sistema de Ventilação adequado, somado à rota de fuga bem definida e uma equipe operacional bem treinada, poderia ter salvado dezenas de vidas humanas.

O acidente, ocorrido no dia 11/11/2000, envolveu um trem funicular, tracionado por meio de cabos de aço, levando a morte de 159 esquiadores. O trem iniciava o trajeto de uma estação na base de uma montanha, a 900 metros de altitude. Em seguida, entrava num túnel de 3.200 metros de extensão até seu destino final a 2400m de altitude. Durante o incêndio, o túnel muito inclinado e estreito, se transformou em uma chaminé, conduzindo a fumaça de baixo para cima. Somente 12 pessoas que estavam no local sobreviveram, pois optaram por descer o túnel, enfrentando o fogo e evitando a fumaça (REVISTA ÉPOCA, 2000). Na figura 3 são mostradas fotos do acidente registrado no período (NEVASPORT, 2012).



Figura 3 - Fotos acidente na geleira de Kitzsteinhorn, Áustria

Os novos e modernos sistemas de ventilação nos Metrô no mundo estão interligados com os equipamentos de detecção de incêndio das estações de forma que atuem, conjuntamente, definindo as ações a serem realizadas, em função das proporções de um foco de incêndio, localização no interior das estações ou túneis e, principalmente, direção do fluxo de usuários conforme a rota de fuga escolhida no momento. Note que a decisão não é tarefa fácil devido ao volume de variáveis a serem controladas.

COSTA et al (2012) relatam a importância do sistema de ventilação principal no sistemas metroferroviários no trabalho intitulado *Automatização do Sistema de Sinalização de Rotas de Fuga em Túneis do Metrô de São Paulo*, onde aborda

resumidamente que, ao se determinar um foco de sinistro (falha em equipamento, incêndio, etc.) ao longo de um trecho de via, que seja necessário evacuação de trem e/ou estação; com a integração do Sistema de Gerenciamento de Rotas de Fuga, esta permite determinar e sinalizar qual o sentido deve-se adotar na fuga e no caso de incêndio, a interface e integração com o sistema de ventilação, permite minimizar os efeitos da fumaça na situação apresentada.

Outro fator importante é a necessidade de se compreender novas filosofias de manutenção, com a quebra de paradigmas existentes, para se adequar os planos de manutenção atualmente existentes aos novos equipamentos fornecidos, que fazem uso cada vez maior de componentes eletrônicos, (IHM, CLP e Inversores de frequência). Para exemplificar a situação descrita cita-se a mudança do controle de vazão nos ventiladores, que não mais são realizados por variação de ângulo de pás e sim por variadores de frequência.

Isto remete a repensar algumas práticas adotadas nos procedimentos de manutenção. Até que ponto estas ações são necessárias e eficazes?

1.3 MOTIVAÇÕES PARA O TRABALHO

Este trabalho nasceu da ideia de analisar a confiabilidade de um determinado equipamento e que este estudo, de alguma forma, pudesse servir de modelo para os demais ativos fixos instalados no Metrô – SP.

Outro fator importante é elaborar um plano de manutenção de equipamento adequado à metodologia de manutenção centrada em confiabilidade (MCC) e não simplesmente adotar um plano de manutenção, sugerido por uma determinada empresa fabricante.

Há também o questionamento da gerência de operações do metrô (GOP), por vezes, solicitando um aumento dos índices de disponibilidade contratados relativos a um determinado equipamento. Tal equipamento consegue atingir este índice de disponibilidade solicitado? O projeto GIA (Gestão Integrada de Ativos), em desenvolvimento pelo corpo técnico de engenharia da gerência de manutenção (GMT) do Metrô, nasceu com o propósito de responder a estas perguntas! (MORA e TURRINI, 2008). Estudar os diversos ativos da empresa com intuito de saber até que ponto é possível aumentar ou não a disponibilidade destes. Caso não seja possível uma melhoria da disponibilidade seria interessante à substituição de determinado ativo? São questões como esta que necessitam de respostas com respaldo técnico adequado.

1.4 ORGANIZAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho está dividido entre os diversos tópicos conforme exemplificado no fluxograma constante da Figura 4:

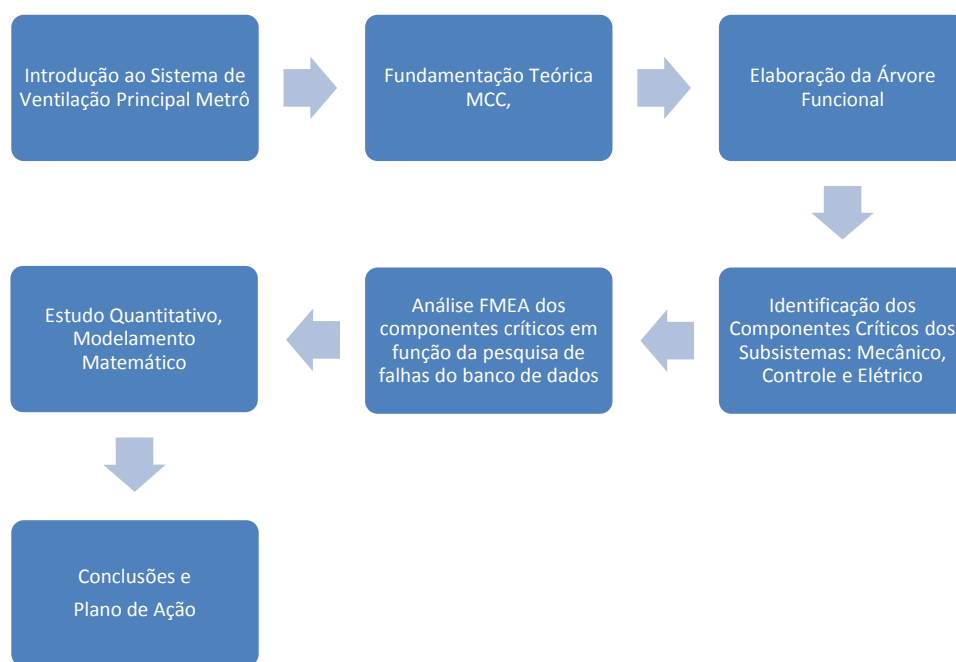


Figura 4 - Fluxograma da Organização do Trabalho e Ações a serem Executadas

Após a divisão do sistema de ventilação em três (3) subsistemas: Mecânico, Elétrico e Controle, todos os componentes do grupo iniciaram a elaboração das Árvores de Funções dos mesmos. Foi realizada uma pesquisa no banco de dados de falhas da manutenção onde se constatou que grande parte das falhas dos subsistemas elétricos e de controle, do universo estudado, era decorrente de mortalidade infantil gerada por problemas de projeto e instalação. Verificou-se ainda uma quantidade representativa de falhas mecânicas talvez oriundas de desvios nas rotinas de manutenção. Adotou-se então o sistema mecânico para desenvolvimento do trabalho visando aumentar a disponibilidade do equipamento.

A seguir foi elaborada a ferramenta qualitativa do tipo FMEA do subsistema mecânico identificando-se como prioritário o tratamento das falhas nas venezianas dos ventiladores utilizando-se ferramentas de estatísticas e probabilidade para o entendimento do comportamento das falhas. Finalmente, com os componentes críticos definidos, o grupo analisou os dados obtidos, concluindo sobre as ações a serem tomadas, visando redução dos custos de manutenção e riscos aos equipamentos. Há, também, um tópico para as propostas de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A proposta deste capítulo é dar subsídios teóricos ao leitor para entendimento das ferramentas utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Para isto é necessário a utilização de ferramentas de análise funcional do equipamento, de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), de Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM) e de Engenharia de Confiabilidade.

2.1 ÁRVORE FUNCIONAL

A árvore funcional é uma representação gráfica do sistema que correlaciona este aos seus subconjuntos unidos por linha, criando-se uma hierarquização entre o sistema e seus subsistemas, bem como deste com seus componentes.

Ela deve permitir a identificação da função de cada componente no sistema, dar ciência ao técnico, de porque o equipamento foi inserido no projeto, e quais as consequências de eventuais falhas neste.

Uma árvore funcional é ponto de partida para o entendimento de qualquer sistema, organizando os componentes de forma lógica e estruturada, revelando a criticidade da falha e a forma de propagação desta. Ela permite definir a dimensão do escopo do estudo, e entender quais componentes devem receber tratamento prioritário. Um exemplo da árvore funcional é mostrado na figura 5.

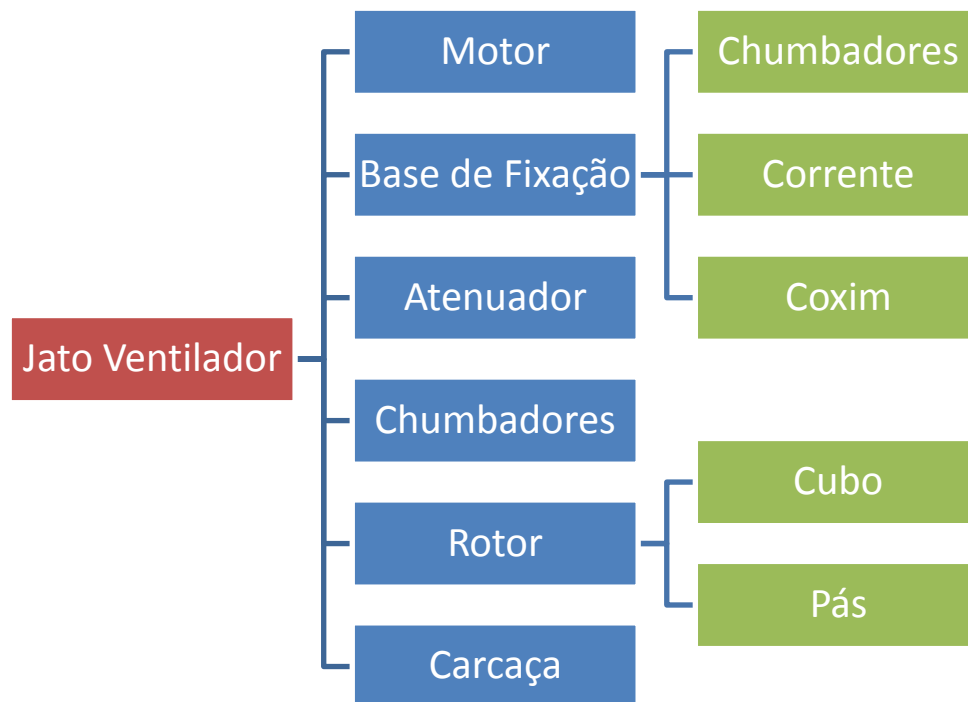


Figura 5 - Árvore Funcional Jato Ventilador

2.2 ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHA (FMEA)

Conforme definição da Norma SAE J-1739 uma análise FMEA (análise de modos e efeitos de falha potencial) pode ser descrita como um grupo sistemático de atividades destinado a:

- Reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto / processo e os efeitos desta falha
- Identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a possibilidade de ocorrências de uma falha potencial

Trata-se de uma técnica analítica qualitativa para identificar e analisar a influência dos potenciais modos de falha sobre o desempenho de um sistema, buscando-se definir

quais efeitos devam ser considerados, eliminados ou minimizados, por meio de uma avaliação de índices:

- Índice de ocorrência é probabilidade de ocorrência do modo de falha baseada na experiência ou banco de dados de falha existentes. Atribui-se um (1) para falhas de baixa ocorrência e 10 (dez) para falhas de grande ocorrência
- Índice de severidade é uma avaliação da gravidade que um modo de falha pode causar no sistema. Atribuindo-se 1 (um) para falhas de baixo risco e 10 (dez) para falhas que causam danos aos bens materiais, meio-ambiente e às pessoas
- Índice de detecção é avaliação do controle existente para o modo de falha, atribuindo-se 1 (um) para falhas sinalizadas e 10 (dez) para falhas ocultas.

O FMEA é uma forma estruturada para se perguntar e responder as seguintes perguntas:

- Como o componente pode falhar?
- Por que falha?
- O que acontece quando falha?
- Como detectar?
- Como prevenir?

Esta é uma ferramenta essencial para a elaboração de uma boa árvore de falhas, e consequentemente um banco de dados de falha de qualidade, possibilitando estudos quantitativos de maior precisão.

Como resultado final do FMEA tem-se um formulário, conforme tabela 1, a qual destaca dois (2) modos de falhas que já ocorreram do conjunto mecânico da veneziana. O FMEA atribui índices de severidade, ocorrência e detecção baseadas nos critérios da tabela 2. Os demais modos de falhas estão detalhados no Apêndice A.2 do trabalho.

Tabela 1 - FMEA simplificado

Componente: Veneziana (haste + bucha + aletas)							
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)
Regular a passagem do ar	Falhar Fechada	1) Travamento das partes móveis por sujeira	1) Queimar motor da veneziana	9	10	1	90
		2) Travamento das partes móveis por falta de lubrificação	2) Não aciona a chave fim de curso				
		3) Desgaste bucha	3) Não permite a partida do motor				
		4) Fadiga haste					
	Falhar Aberta	1) Travamento das partes móveis por sujeira	1) Curto circuito no ar no caso de falha de um ventilador	6	10	1	60
		2) Travamento das partes móveis por falta de lubrificação					
		3) Desgaste bucha					
		4) Fadiga haste					

A finalidade é apresentar de forma simples as informações técnicas sobre o produto no que se refere aos potenciais modos de falha, suas causas e seus efeitos, os índices qualitativos do risco, as recomendações para melhorias e as ações corretivas e ou preventivas para promover a confiabilidade do elemento estudado.

A tabela deverá conter o nome do componente, ou conjunto estudado, bem como a função deste. Na segunda coluna deverão ser inseridos os modos de falha esperados para aquele componente (conjunto), ou seja, qualquer evento que possa causar um estado de falha, comprometendo a função.

O campo da causa e mecanismo de falha, conforme definições da NBR 5462 são definidos da seguinte forma:

Causa de falha é a circunstância relativa ao projeto, fabricação, ou uso que conduzem a uma falha. Enquanto que o mecanismo da falha é o conjunto de processos físicos, químicos que conduzem a falha. Exemplos: escoamento, fadiga, instabilidade do material, desgaste, corrosão, oxidação, eletromigração, aquecimento, histerese, e interferência eletromagnética.

Conforme descrito por MOUBRAY, os modos de falha são gerados em sua grande maioria pelas seguintes causas:

- Deterioração sendo que esta cobre a todas as formas de desgaste (fadiga, corrosão, abrasão, erosão, evaporação, degradação por isolamento);
- Falhas de lubrificação basicamente referem-se às falhas originadas por falta de lubrificante ou a falha deste;
- Sujeira, quando esta interfere diretamente no equipamento causando paradas, obstrução ou engripamento;
- Desmontagem / Montagem;
- Erros humanos, devendo-se ter cuidado no preenchimento do FMEA do que ficou errado e não quem causou o erro;
- Sobrecarga, quando o equipamento esta trabalhando dentro do desempenho especificado, no entanto, é solicitado acima deste.

A descrição da coluna dos efeitos e consequências deve relatar o que implicará a falha a nível local, bem como as consequências da propagação desta. É uma etapa importante para subsidiar o preenchimento do índice de criticidade do modo da falha.

A tabela deve trazer ainda quais as tarefas que podem ser realizadas para se detectar a falha, ou quais atividades proativas de manutenção são realizadas que previnem aquela falha. De uma forma simplista pode-se inferir que as tarefas de detecção são as atividades de inspeção, enquanto as de prevenção, basicamente, as de substituição ou descarte.

Depois de concluída a etapa de descrição das colunas mencionadas anteriormente dá-se início a determinação dos índices de ocorrência, detecção e criticidade dos modos de falha. Estes campos devem ser preenchidos com base em uma tabela de apoio com critérios pré-estabelecidos, baseado em experiências anteriores e ou previsões sem qualquer cálculo. As normas SAE 1739 e MIL STD -1629A são referências bastante utilizadas, mas é recomendável cada organização buscar criar seus padrões conforme suas experiências e condições operacionais. Segue a tabela 2 com os critérios adotados pelos autores para este trabalho.

Tabela 2 - Critérios para decisão no FMEA

Severidade		Ocorrência		Detecção	
1	Falha de menor importância	1	1 em 100 falhas	1	Probabilidade muito alta de detecção e sinalizada
2-3	Provoca redução do desempenho componente	2	2 em 100 falhas	2-3	Probabilidade alta de detecção
4-6	Componente sofre uma degradação progressiva	3	5 em 100 falhas	4-6	Probabilidade moderada de detecção
7-8	Componente não desempenha sua função	5	10 em 100 falhas	7-8	Probabilidade pequena
9	Colapso do processo	7	15 em 100 falhas	9	Probabilidade muito pequena
10	Os problemas são catastróficos e podem ocasionar danos a bens ou pessoas	10	20 ou mais falhas	10	Probabilidade remota

Por fim o produto entre os três índices irá definir o campo NPR (nível de prioridade de risco) sendo que o seu valor priorizará as ações corretivas a serem tomadas a cada item analisado.

Algumas recomendações devem ser levadas em conta no momento de elaboração do FMEA conforme destaca PALADY. Devem-se priorizar os modos de falha mais importantes devido ao tempo consumido nos estudos, não devendo considerar todos os modos de falha concebíveis.

O processo de avaliação deve ser revisto continuamente para acompanhamento e tratamento dos modos de falha prioritários garantindo assim a confiabilidade e disponibilidade do ativo, sem oferecer riscos à segurança e ao meio ambiente.

2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE - MCC

A Manutenção Centrada em Confiabilidade é um processo para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários desejam que ele faça no seu contexto operacional (MOUBRAY).

2.3.1 DEFINIÇÃO DE FALHA E CONFIABILIDADE

Um primeiro questionamento importante é a definição de falha. Existem diversas interpretações para o tema. Conforme CARAZAS (2011) “a falha é um estado atemporal, característico da operação, no qual o componente não é capaz de cumprir a função-chave para o qual foi projetado.” Para CARAZAS apud SMITH e HINCHCLIFFE (2004) “é a incapacidade de um componente, fazer frente ou satisfazer um desempenho esperado”.

No corpo técnico do Metrô há também dúvidas quanto a esta definição. Existem entendimentos de que a falha ocorre somente quando há caracterização, pela equipe da manutenção, que o equipamento estava em falha, como informado pela equipe operacional nas estações. Neste instante se a equipe de manutenção em campo constatar que o equipamento estava funcional, mesmo que este não esteja operando no momento da chegada em uma estação, não é considerado falha.

Este raciocínio conflita com a definição de SMITH e HINCHCLIFFE (2004) e do próprio CARAZAS (2011), na medida em que não há necessidade de se achar a causa raiz do desvio, neste momento, para se determinar se há uma falha ou não diante das equipes de manutenção e dos próprios operadores.

Este grupo acredita nisto, ou seja, independente de se achar a causa raiz do problema, está-se diante de uma falha, um desvio, ou seja, uma incapacidade de se cumprir uma determinada função estipulada.

A negativa da falha, ou seja, o funcionamento adequado ou satisfatório de um determinado equipamento (ou ativo) está relacionado a uma probabilidade conforme eq.(2.1) e eq.(2.2), a seguir:

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.1)$$

$$R(t) + F(t) = 1 \quad (2.2)$$

Sendo,

$R(t)$ = Confiabilidade

$F(t)$ = Função de probabilidade acumulada de falhas

P = Probabilidade

T = Tempo

t = Tempo operacional

As figuras 6 e 7 mostram os gráficos de Confiabilidade e Função de Probabilidade de Falha Acumulada.

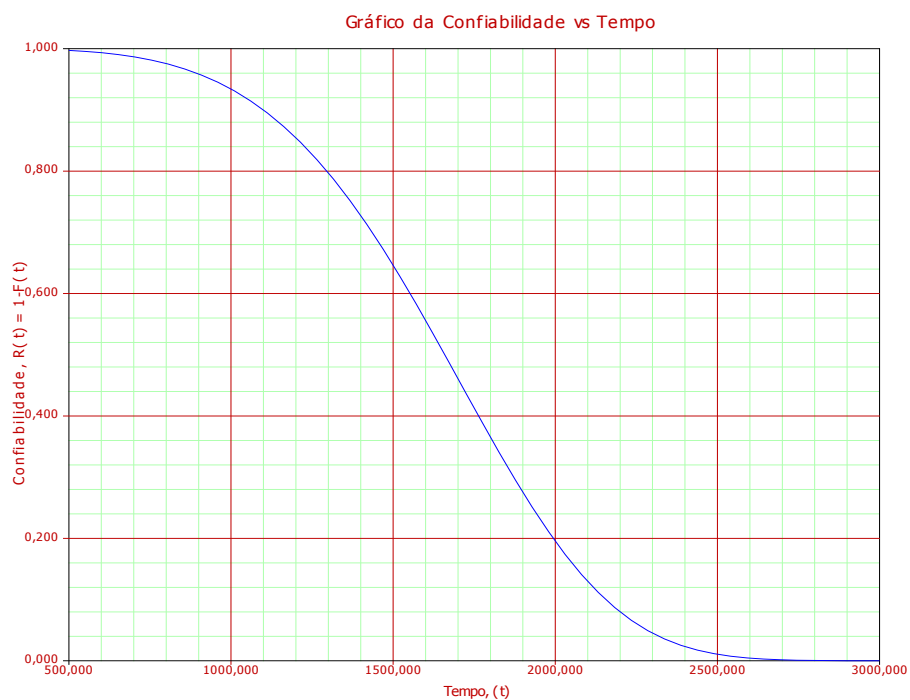


Figura 6 - Modelo de Função de Confiabilidade

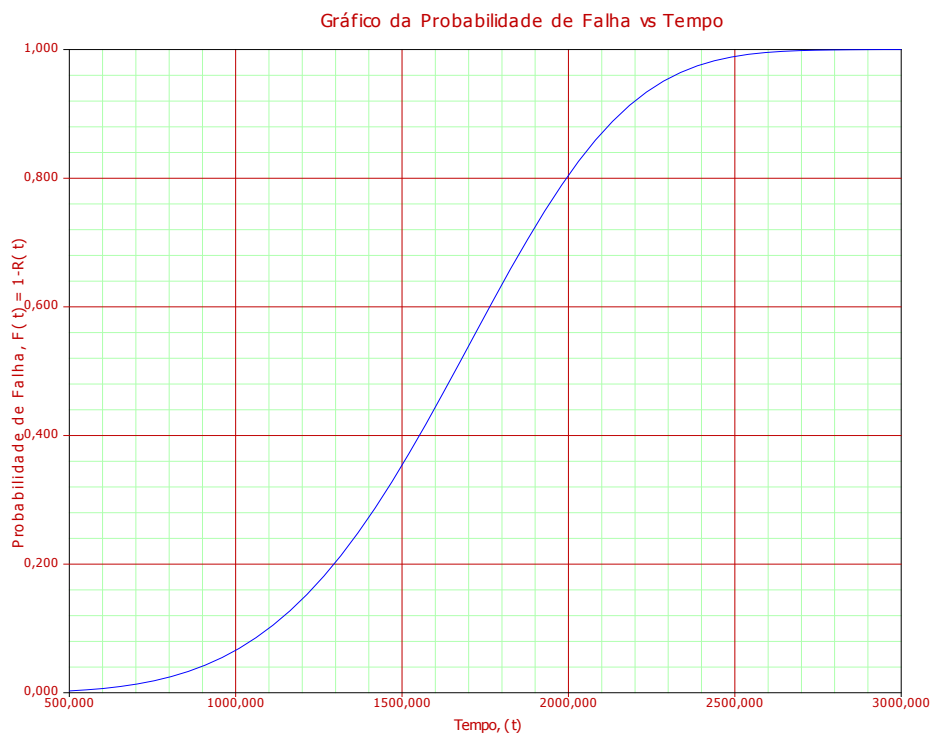


Figura 7 - Modelo de Função de Probabilidade de Falha Acumulada

A confiabilidade é uma técnica científica aplicada para se conhecer o desempenho ou comportamento de vida de equipamentos, plantas ou processos de forma assegurar que este desempenhe a sua função, sem falhar, por um tempo determinado, dentro de uma condição operacional definida.

A confiabilidade pode ser representada por uma função complementar à probabilidade de falha, ou seja, é a probabilidade de não apresentar a falha até um determinado tempo, ou outra variável aleatória que indique o tempo de uso do sistema. Esta pode ser expressa como um número entre $0 < R < 1$. Se um componente apresenta uma confiabilidade de 0,8 aponta que este tem 80% de chance de ter sucesso em desempenhar sua função naquele determinado tempo. Ou ainda como uma segunda analogia, caso existissem 100 equipamentos instalados na planta seriam esperadas 20 falhas no período.

A função da taxa de falha possibilita definir o número de falhas por unidade de tempo, como mostra a eq.(2.3):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.3)$$

$\lambda(t)$ = Função da taxa de falhas

$f(t)$ = Função densidade de probabilidade de falha ou falha instantânea

$R(t)$ = Confiabilidade

A taxa de falhas é expressa em falhas por unidade de tempo, podendo assumir contornos diversos, conforme a aplicação, a natureza do componente ou sistema ou ainda devido às práticas de manutenção adotadas para o ativo.

O padrão de falha mais usual, conhecido e explorado é a curva da banheira, por englobar padrões diferentes em um só gráfico, conforme mostra a figura 8. Segundo esta curva, o comportamento da taxa de falha vai se alterando com o passar do tempo.

A primeira fase é conhecida como a região da infância, região apresenta uma alta taxa de falhas e decai rapidamente com o passar do tempo. As causas principais conhecidas são:

- Falha de projeto;
- Defeito de fabricação;
- Problemas de Instalação;
- Mão-de-obra de manutenção destreinada;
- Operação indevida;
- Comissionamento incorreto.

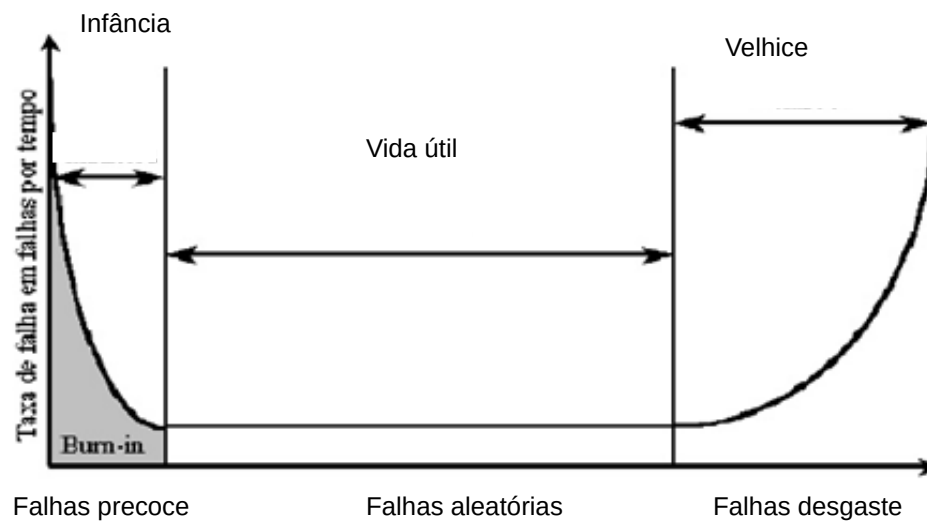


Figura 8 - Curva da banheira

O término das falhas prematuras é conhecido como “*burn-in*”, onde, a partir deste ponto, a taxa de falha assume valor constante, local em que ocorrem falhas aleatórias. Nesta etapa, as atividades de manutenção e operação são ditas ideais e o tempo não afeta a probabilidade de falhas futuras (CARAZAS, 2006).

As falhas neste trecho originam-se muitas vezes por sobrecarregamentos inesperados, tais como, surtos de energia, vibrações, impactos mecânicos, flutuações de temperatura e umidade.

A terceira fase é conhecida como região de falhas por desgaste, é a região que sinaliza a mortalidade do componente, causada por fadiga, oxidação, corrosão entre outros. Esta região pode ser suprimida com atividades de manutenção preventiva, através da substituição dos componentes.

A curva da banheira da figura 8 é genérica, pois cada categoria de equipamento possui uma curva característica. Equipamentos eletrônicos apresentam as etapas I e II, sem as características de envelhecimento, apresentam mortalidade infantil e durante a sua vida operacional, apresentam falhas de natureza aleatória sem apresentar a etapa de envelhecimento, característica típica dos componentes mecânicos, que trabalham grande parte das vezes nas regiões I e III. As causas de mortalidade infantil nos componentes mecânicos são associadas a problemas de fabricação, montagem e durante a operação, falham normalmente por desgaste, corrosão e fadiga, ou seja, danos relativos ao tempo de operação.

2.3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

A análise de dados de vida, ou seja, do tempo até a falha de um componente é a base de dados que é utilizada para os estudos quantitativos de confiabilidade. A partir deste são geradas as curvas de probabilidade de falha acumulada e de confiabilidade. Estas previsões são baseadas em estimativas e deve-se lembrar de que o objetivo da engenharia de confiabilidade é antever com máxima precisão o valor da confiabilidade de um componente, no entanto, o número exato não será conhecido, pois mesmo que os componentes sejam manufaturados, produzidos e até utilizados nas mesmas

condições operacionais, estes apresentarão tempo de falha distintos, somado ainda a obtenção de dados muitas vezes incompletos conhecidos também como dados censurados, ou seja, dados que não apresentaram falha no tempo estudado (FREITAS E COLOSIMO, 1997). Os modelos e análises levam em conta estes fatores, no entanto são aproximações, sendo de fundamental importância a correta classificação dos dados para uma correta análise.

Segue uma classificação de tratamento dos dados de vida, para análise da confiabilidade (RELIASOFT, 2012):

- Tempo até a falha conhecido, dado completo;
- Tempo em que o equipamento trabalhou sem falhar conhecido, ou seja, análise suspensão sem o equipamento apresentar falha, dado censurado à direita;
- Intervalo de tempo da falha conhecido, sem conhecer o momento exato da falha, dado censurado em intervalo;
- Tempo da falha conhecido sem conhecer o tempo inicial de operação, dado censurado à esquerda.

2.3.3 DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE

Tem-se por definição formal como a probabilidade de uma variável assumir certo valor ao longo de um espaço de valores. Função cujo domínio são os valores da variável e cuja imagem são as possibilidades de uma variável assumir cada valor, estando o conjunto imagem compreendido entre o intervalo 0 e 1 (RELIASOFT, 2012).

Trazendo a definição para confiabilidade, a variável na maior parte das vezes será o tempo até a falha, sendo a imagem a probabilidade de a falha ocorrer naquele intervalo infinitesimal de tempo, pois se trata de uma variável aleatória contínua. A somatória de

todas as probabilidades do equipamento falhar será sempre igual a um (1), conforme descrito na eq.(2.4) e representado na figura 9.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1 \quad (2.4)$$

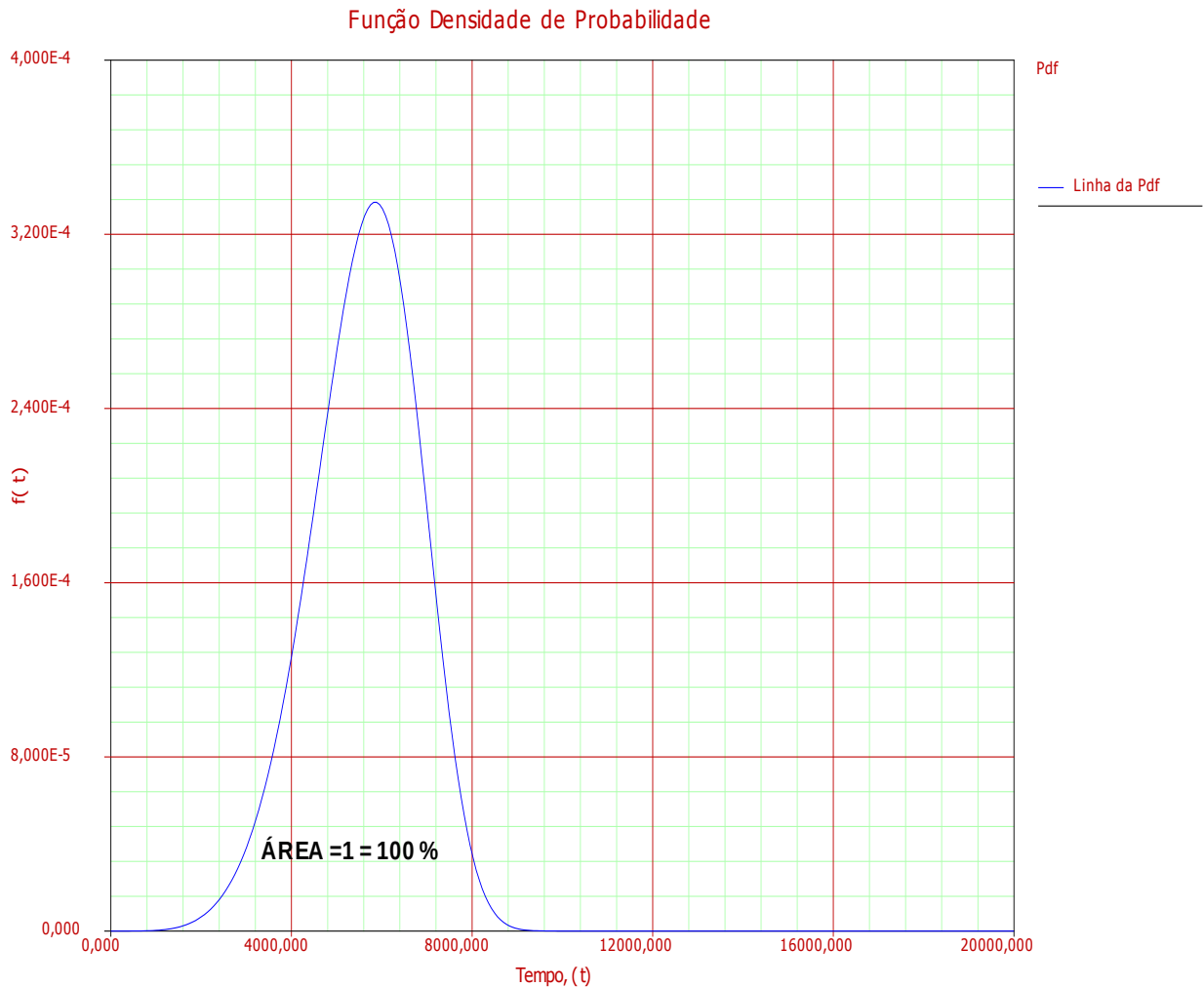


Figura 9 – Modelo de Função de Densidade de Probabilidade

As distribuições estatísticas mais utilizadas na parametrização de uma função densidade de probabilidade na confiabilidade são: Normal, Exponencial, Lognormal, e Weibull. A figura 10 ilustra os comportamentos mais usuais. O comportamento da população estudada influenciará na escolha do modelo, observadas as seguintes regras:

- Distribuição exponencial para taxa de falha constante;
- Distribuição Normal para taxa de falha crescente;
- Log-normal para taxa crescente, então decrescente assintoticamente para zero;
- Weibull pode ser utilizada para crescente, decrescente ou constante.

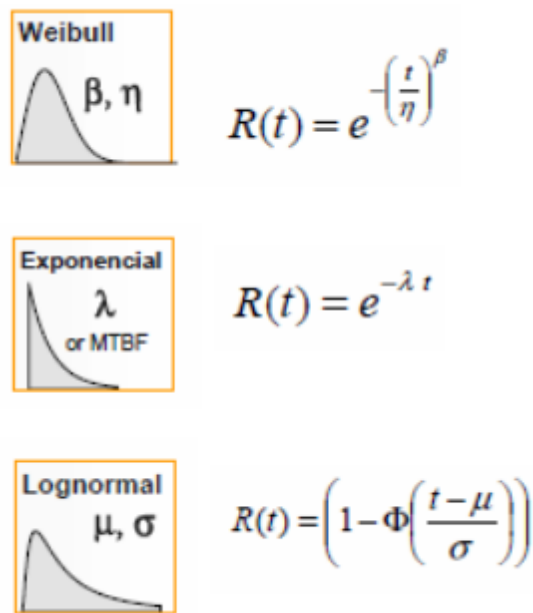


Figura 10 – Modelo de função de densidade de probabilidade (RELIASOFT, 2012)

2.3.4 MODELO DE WEIBULL

O modelo de Weibull é bastante utilizado na confiabilidade devido a sua versatilidade, pode assumir taxa de falha crescente, decrescente ou constante, sua função densidade de probabilidade pode admitir diferentes formatos, substituindo os demais modelos de parametrização, sendo a sua forma de dois parâmetros a mais utilizada, e descrita pela eq.(2.5):

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2.5)$$

Sendo: β é o parâmetro de forma
 η é o parâmetro de escala

O parâmetro de forma β é conhecido como a inclinação da distribuição de Weibull. Os diferentes valores do parâmetro de forma aproximarão o modelo de outras distribuições. Quando $\beta = 1$, por exemplo, indica que se trata de uma distribuição exponencial, quando $\beta = 3,0$, esta se aproxima de uma lognormal. A figura 11 mostra os efeitos da variação do parâmetro de forma β na forma da função densidade de probabilidade, sendo este um parâmetro adimensional.

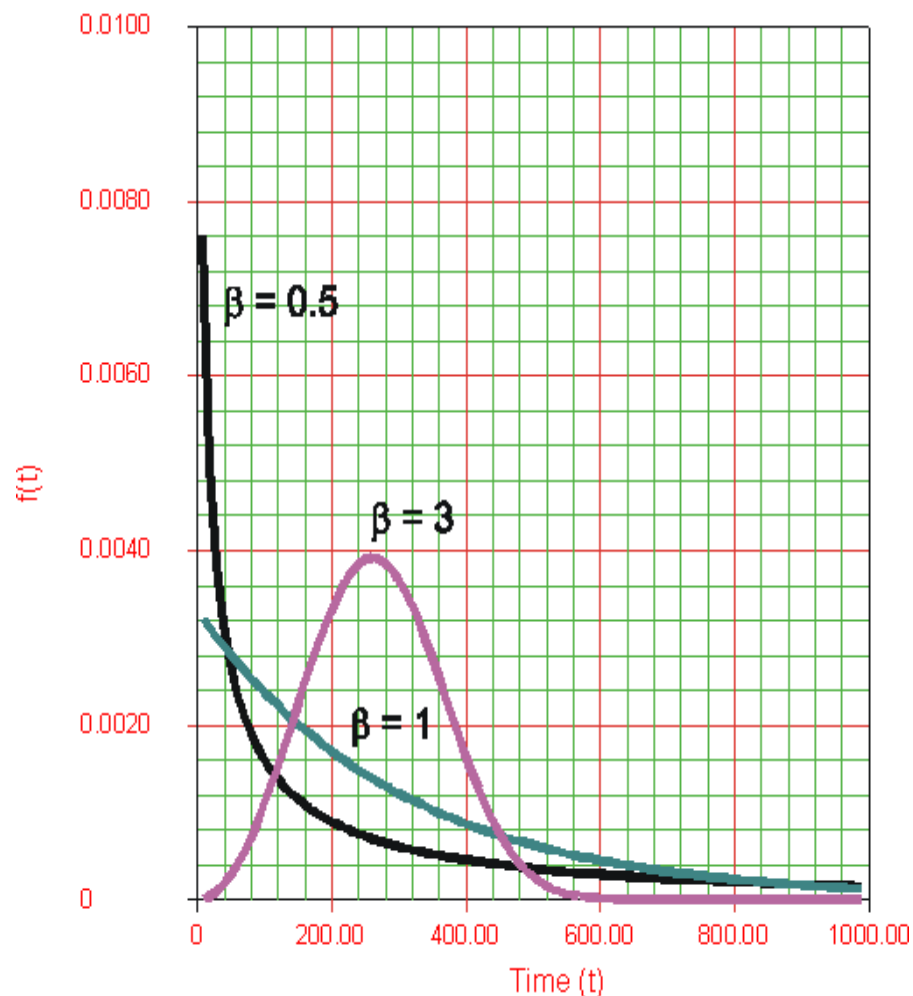


Figura 11 – Modelo de função de densidade de probabilidade (RELIASOFT, 2012)

Como mostrado na figura 12, quando a distribuição Weibull apresentar fator de forma $\beta=1$, indica que o modelo gerado possui taxa de falha constante, se $\beta<1$ taxa de falha decrescente e se $\beta>1$ taxa de falha crescente.

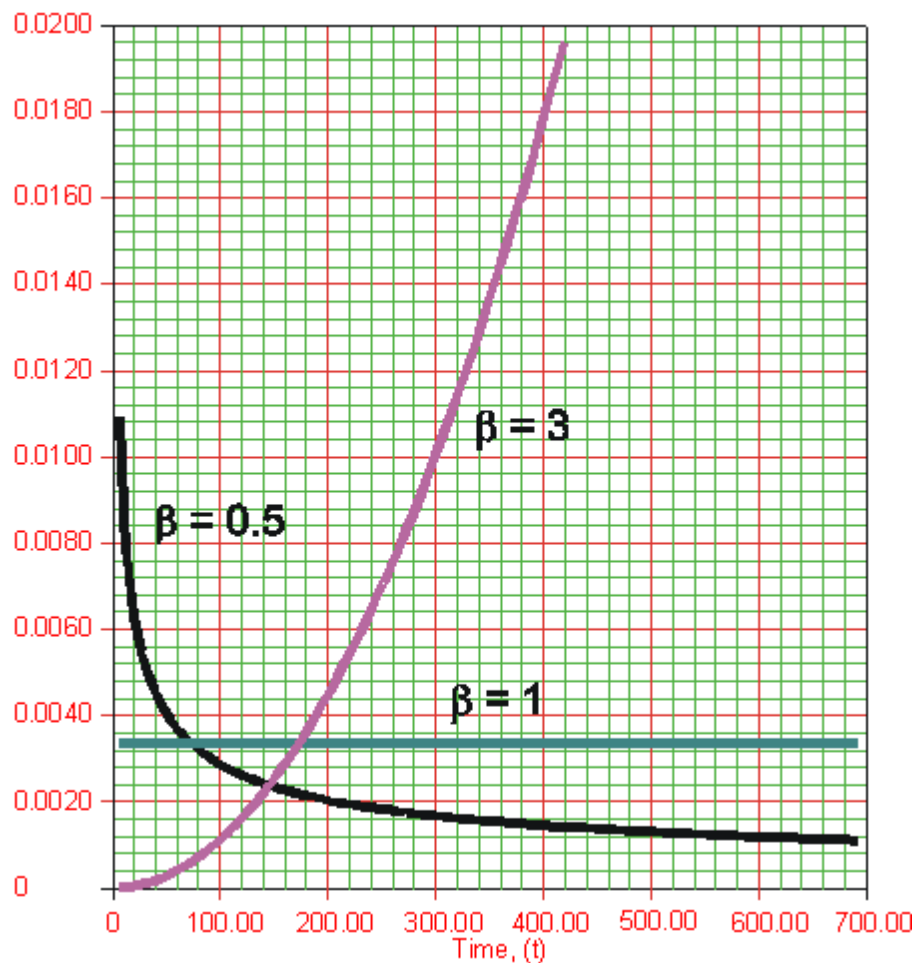


Figura 12 – Influência do parâmetro de forma na taxa de falha (RELIASOFT, 2012)

Na figura 13, o parâmetro de escala η ou também conhecido como vida característica tem as mesmas unidades da variável aleatória, ou seja, em geral o tempo. Ela provoca um deslocamento na escala das abscissas. Se η é aumentado e β mantido, a curva começa a se deslocar para a direita e sua altura diminui, se η é diminuído e β mantido, a curva se desloca para esquerda e tem sua altura aumentada. Ele recebe o nome de vida característica, pois 63,2% da população falha até este tempo, independentemente do valor de β .

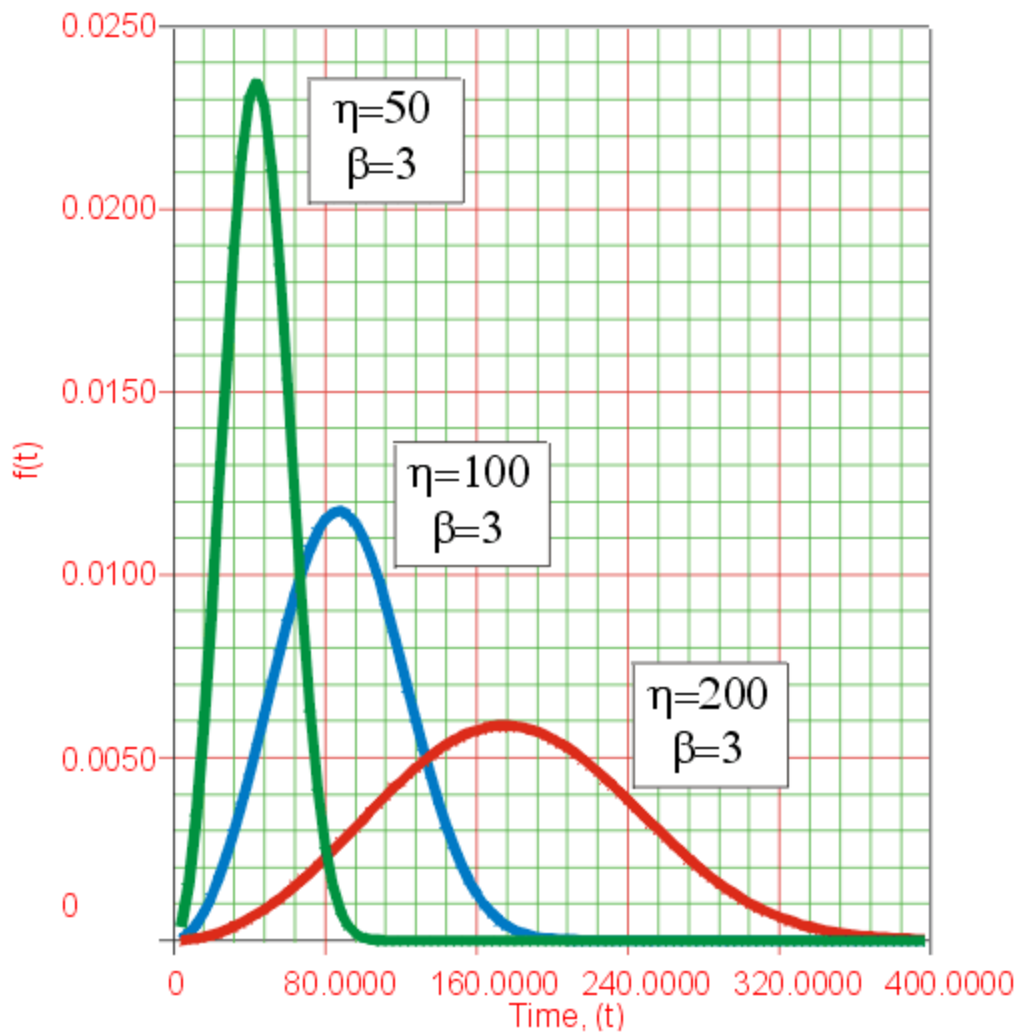


Figura 13 – Influência do parâmetro de forma na taxa de falha (RELIASOFT, 2012)

Existe ainda um terceiro parâmetro γ (gama), menos utilizado, conhecido também como parâmetro de posição, pois representa um deslocamento no eixo das abscissas, para um valor diferente de zero. Para um parâmetro positivo de γ representa que aquele componente só apresentará falhas após o período expresso por γ .

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 ÁRVORE FUNCIONAL

A primeira tarefa deste trabalho é elaborar a árvore funcional do Sistema de Ventilação Principal. Inicialmente o sistema foi dividido em três (3) subsistemas: Mecânico, Elétrico e de Controle, conforme mostra a figura 14.

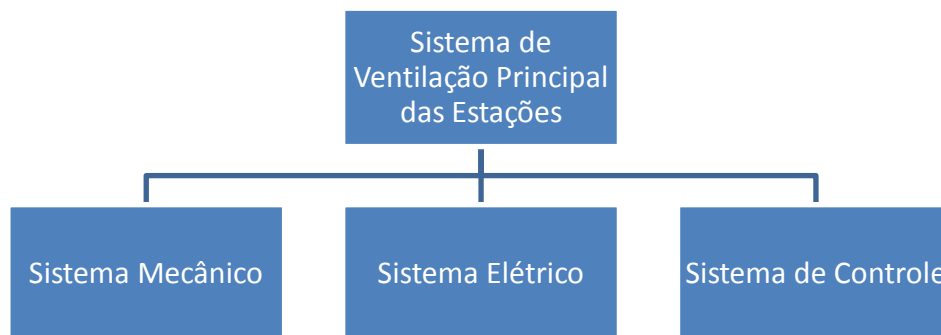


Figura 14 – Árvore de funções do sistema de ventilação principal com a divisão em três (3) subsistemas

A seguir foram elaboradas as árvores funcionais de cada um dos subsistemas, as quais são apresentadas nas figuras 15, 16, 17, 18 e 19 e na tabela 3, são apresentadas as funções dos componentes mecânicos.

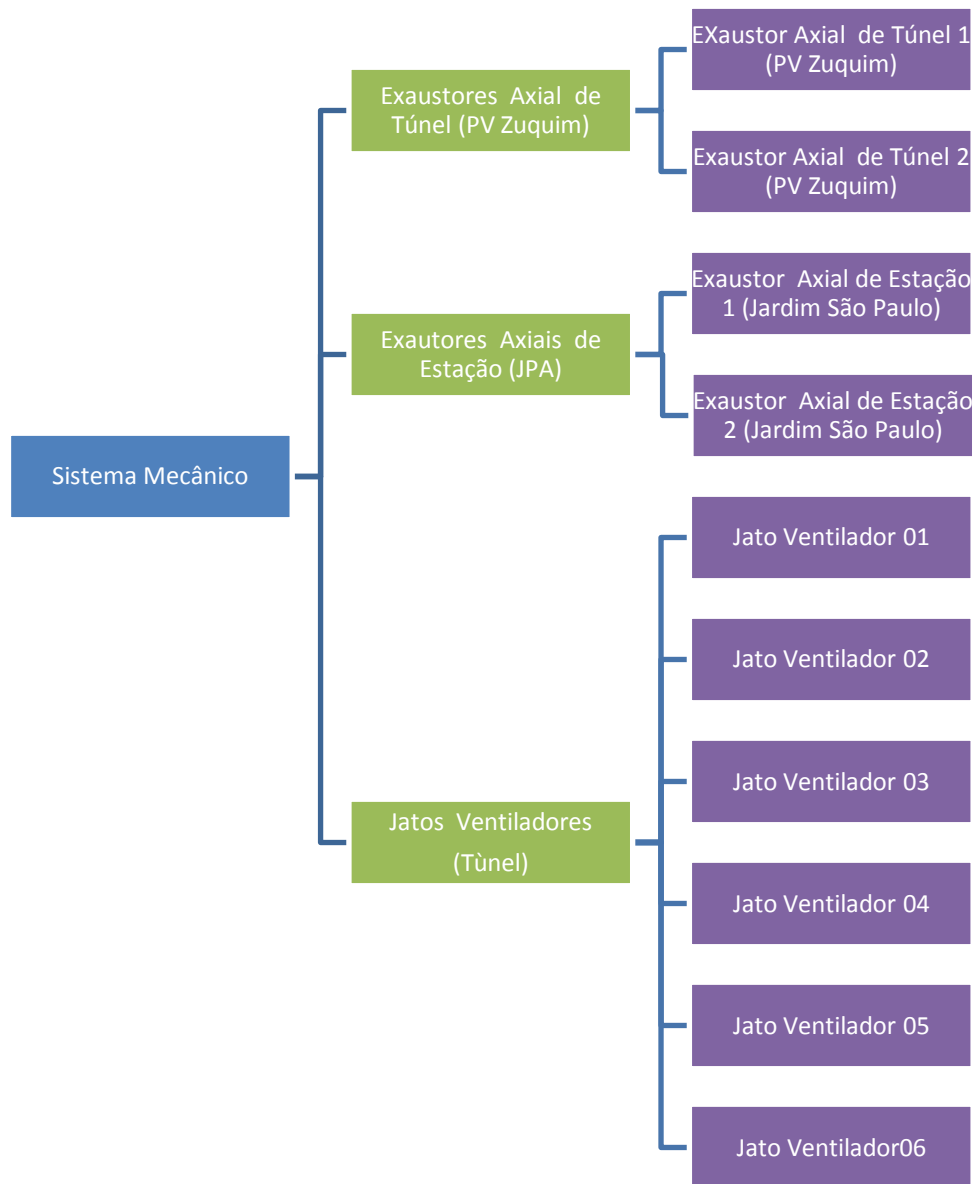


Figura 15 – Árvore de Funções do Subsistema Mecânico

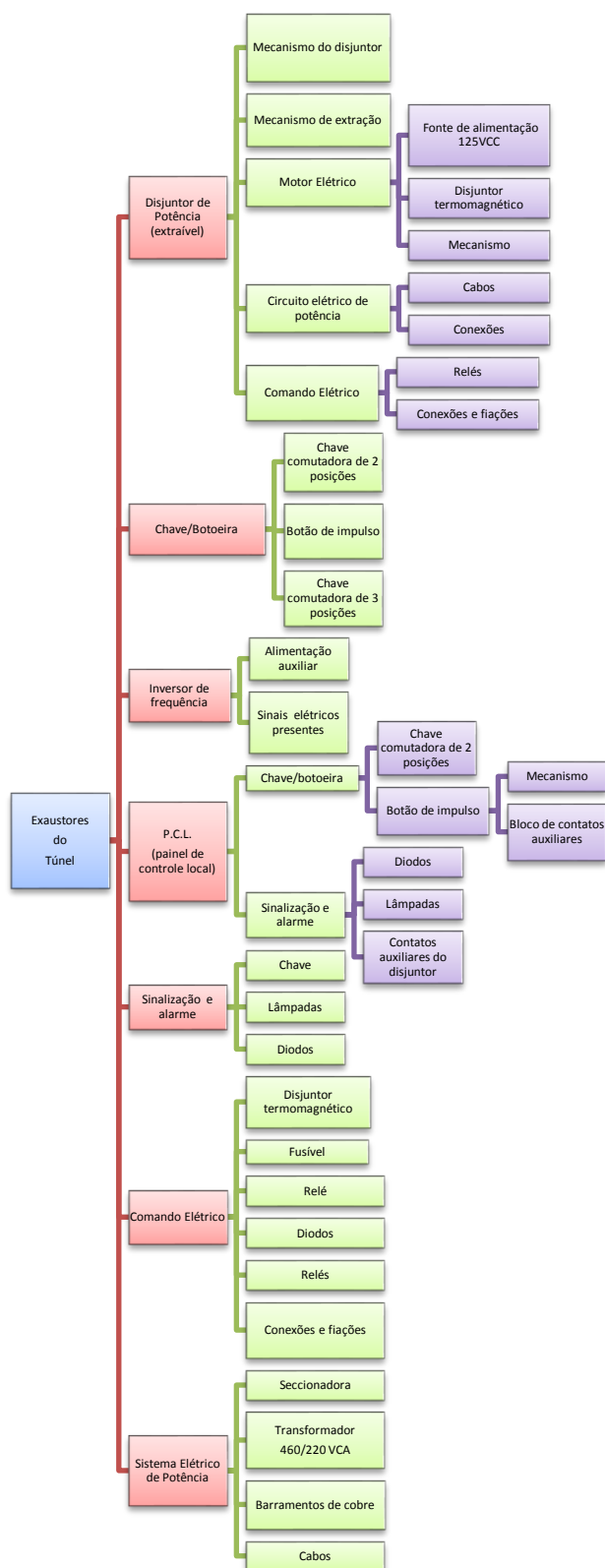


Figura 16 – Árvore de Funções do Subsistema Elétrico (Exaustores do Túnel)

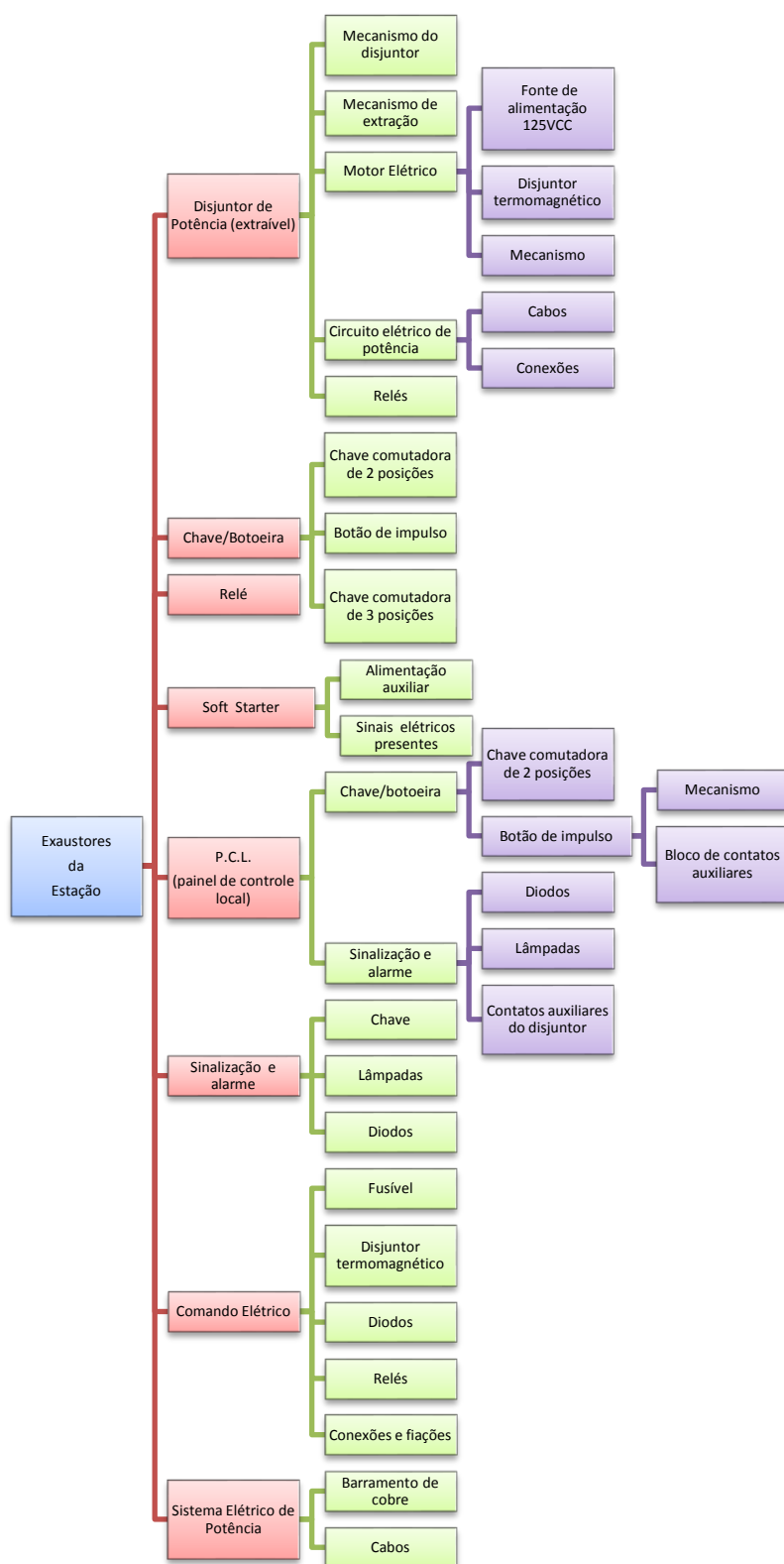


Figura 17 – Árvore de Funções do Subsistema Elétrico (Exaustores da Estação)

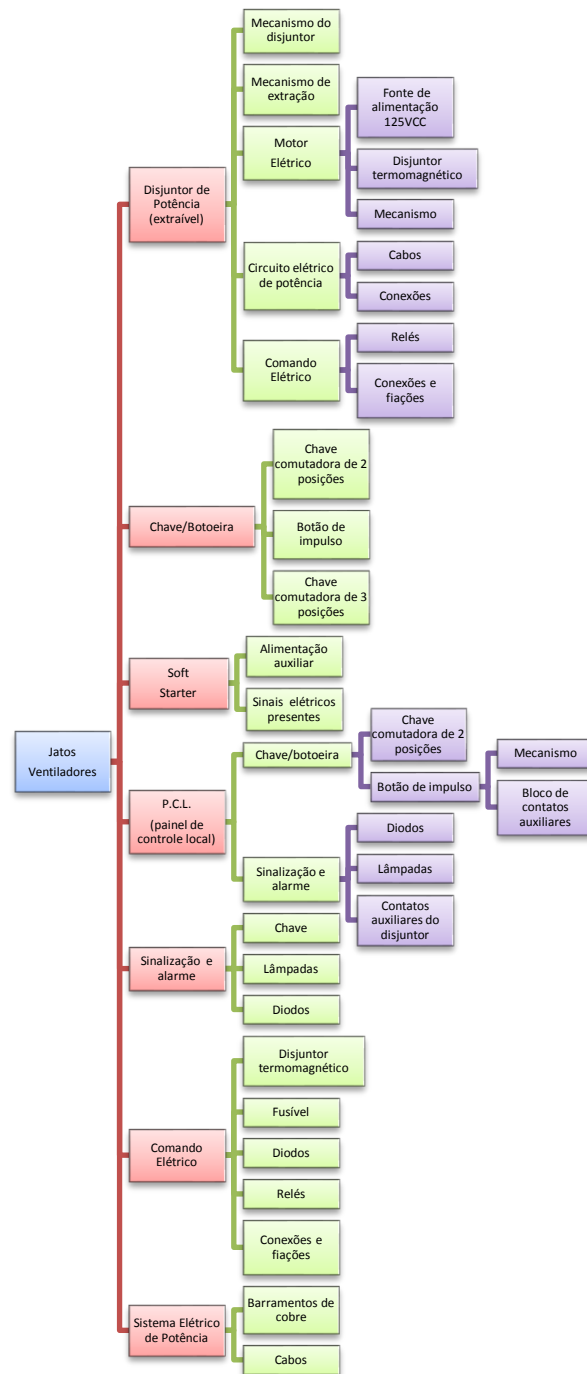


Figura 18 – Árvore de Funções do Subsistema Elétrico (jatos ventiladores)



Figura 19 – Árvore de Funções do Subsistema Controle

Tabela 3 - Funções dos Componentes Mecânicos

Componente	Função
Coxim	Absorver vibração do ventilador
Junta flexível	Evitar a propagação da vibração da carcaça para o difusor
Difusor	Transformar parte da pressão dinâmica do ventilador em estática
Cubo	Transferir a rotação do motor para as pás
Pás	Converter a energia mecânica de rotação em diferença de pressão
Pás diretrizes	Reduzir perdas das componentes tangenciais geradas no ventilador
Motoredutor veneziana	Transformar energia elétrica em mecânica
Atuador da veneziana	Transmitir movimento do fuso do motor para aletas da veneziana
Micro sensor veneziana fechada	Informar que a veneziana esta fechada
Micro sensor veneziana aberta	Informar que a veneziana esta aberta
Sensor de temperatura dos mancais	Informar a temperatura dos mancais
Sensor de temperatura dos estator	Informar a temperatura do estator
Sensor de vibração	Informar os valores de vibração dos mancais do motor
Motor	Transformar energia elétrica em mecânica
Lubrificador de mancais	Acessar os mancais do motor
Tela de proteção	Evitar entrada de corpos estranhos
Bocal de entrada	Reduzir perdas

3.2 DADOS DE FALHA

A etapa seguinte consistiu na análise das falhas registradas no banco de dados da Manutenção.

A primeira opção foi avaliar as falhas dos equipamentos de ventilação da linha 2-Verde, devido à semelhança com os equipamentos objeto deste estudo, no período entre 2008 a 2012, conforme exposto no gráfico de Pareto da figura 20.

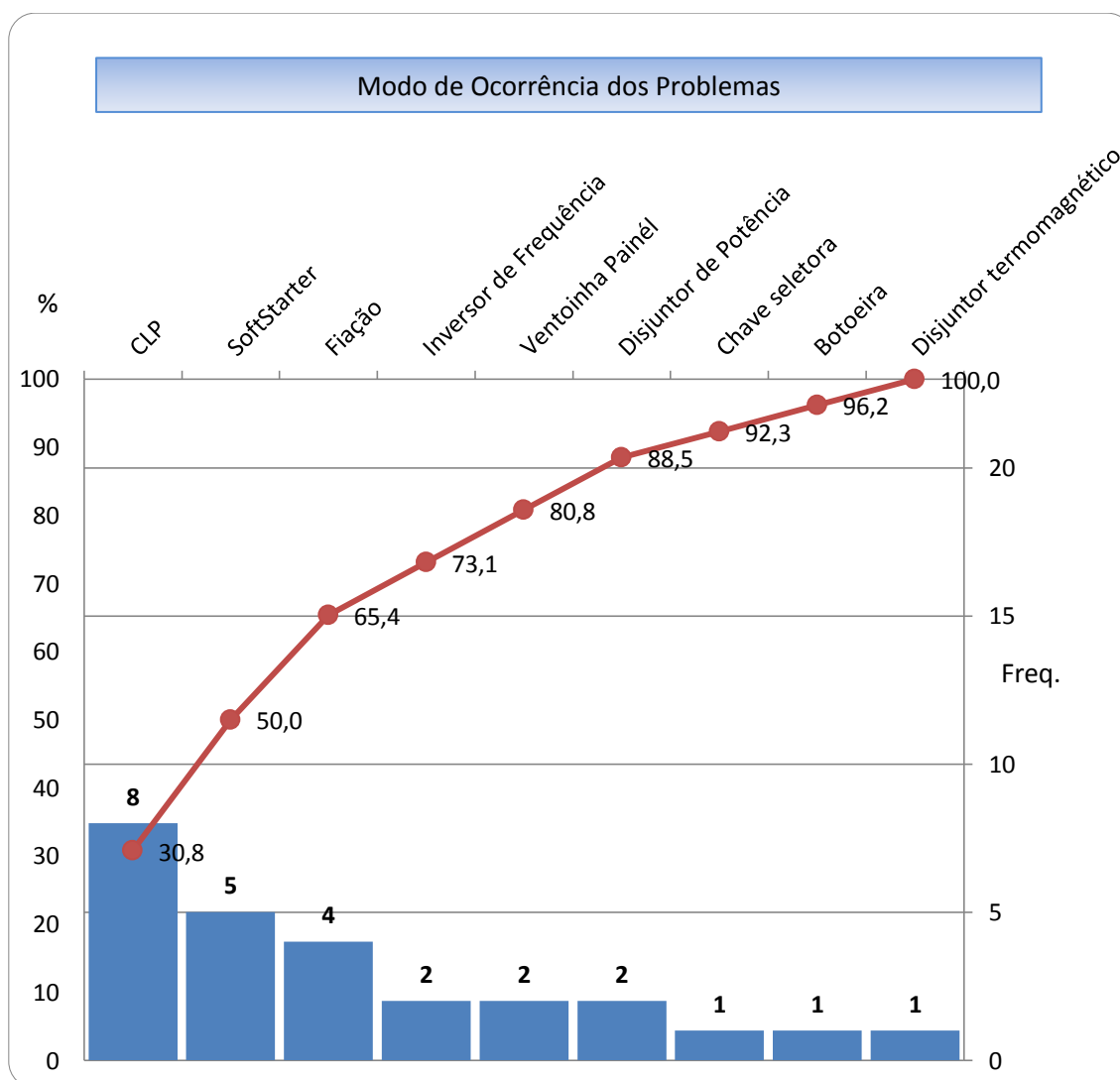


Figura 20 – Gráfico de Pareto de falhas no sistema de ventilação principal da linha 2-Verde, no período de 2008 a 2012

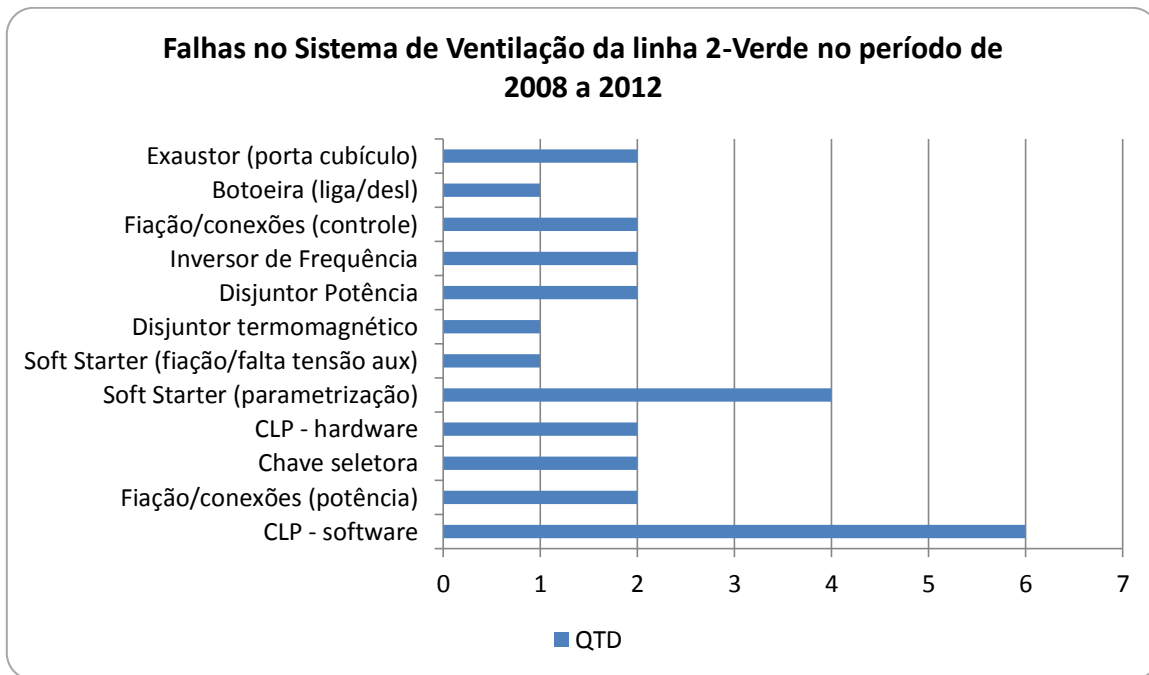


Figura 21 – Gráfico de falhas com detalhamento dos diversos desvios, do período de 2008 a 2012, no sistema de ventilação principal da linha 2-Verde

Conforme detalhamento das falhas da figura 21 observou-se que todas as falhas eram relacionadas ao subsistema elétrico e de controle. O subsistema mecânico não apresentou problemas neste período pesquisado, entre 2008 e 2012. Conclui-se que o sistema da linha 2-Verde não se mostra o mais adequado para análise de desgaste mecânico de seus componentes, por não apresentar falhas no período de quatro (4) anos de operação do sistema.

Diante do fato relatado era necessário um levantamento das falhas mecânicas de um sistema similar para efeito de comparação com o sistema da extensão norte da linha 1-Azul. Após estudos, o sistema escolhido foi o trecho antigo da linha 1-Azul entre as estações Tiradentes e Jabaquara devido à similaridade construtiva dos canais de exaustão, difusores e venezianas. Foram excluídas as falhas do rotor do ventilador que possui um mecanismo denominado *Lewa*, responsável pela modulação da vazão dos ventiladores (alteração do ângulo das pás), existente somente nos equipamentos deste trecho.

Assim, foi realizada uma pesquisa no banco de dados, relativo ao maior período disponível, entre 2002 e 2012, com intuito de verificar as falhas mecânicas do sistema de ventilação. Para esta verificação, extraiu-se do banco de dados somente às falhas (abertas pela equipe da operação e/ou detectadas pela equipe de manutenção) dos componentes similares aos existentes no novo sistema instalado, conforme exposto nas figuras 22 e 23.

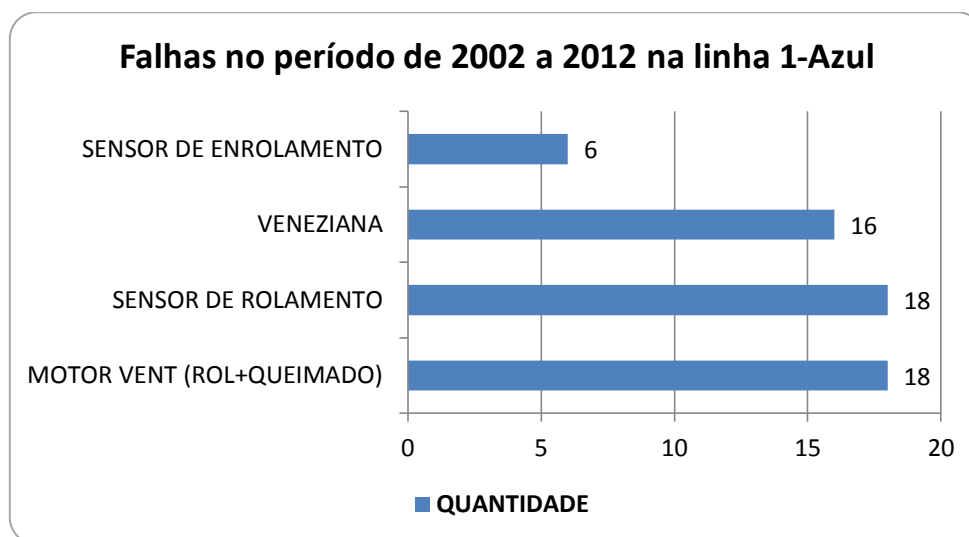


Figura 22 – Gráfico de falhas do período de 2008 a 2012, referente aos componentes mecânicos, no sistema de ventilação principal da linha 1-Azul

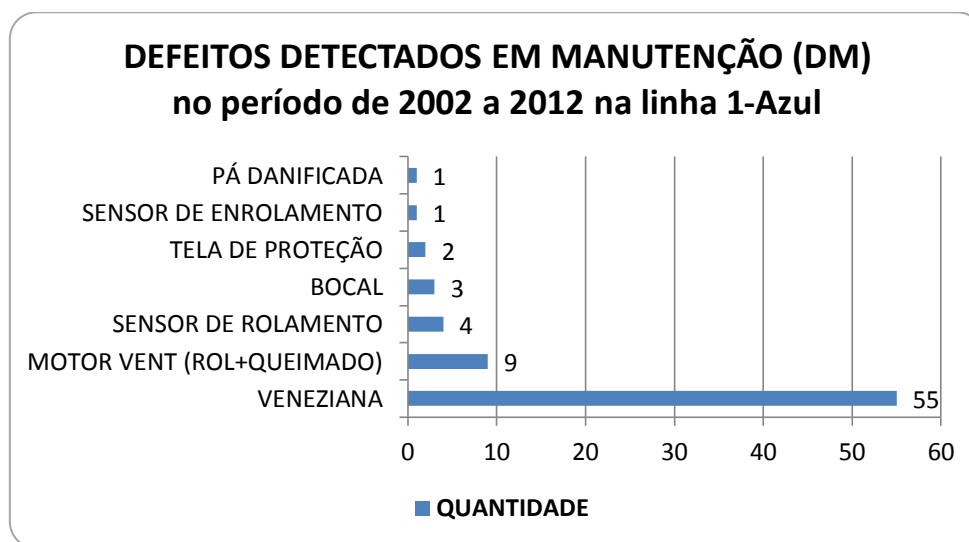


Figura 23 – Gráfico de Defeitos Detectados em Manutenção (DM) do período de 2008 a 2012, referentes aos componentes mecânicos, no sistema de ventilação principal da linha 1-Azul

Percebe-se que as falhas no conjunto do sistema de veneziana (moto redutor, haste de acionamento das folhas da veneziana e chave fim de curso) representam a maioria das falhas no período estudado, mais precisamente 53%, conforme detalhado na tabela 4.

Na figura 23 nota-se que as falhas no *Motor Ventilação* estão aglutinadas nos seguintes modos de falha: *Rolamento e Queimado*. Este fato decorre de desvios nos registros de apontamento do banco de dados da manutenção, não sendo possível assim separar falhas de rolamento e de enrolamento do motor. Os reparos do motor são realizados em oficina interna que possui sistema informatizado independente da manutenção.

Tabela 4 - Totalização das Falhas + DM do período de 2002 a 2012, referente aos componentes mecânicos, no sistema de ventilação principal da linha 1-Azu

FALHA + DM	QUANTIDADE	Total
VENEZIANA	71	53%
MOTOR VENT (ROL+QUEIMADO)	27	20%
SENSOR DE ROLAMENTO	20	15%
SENSOR DE ENROLAMENTO	9	7%
BOCAL	3	2%
TELA DE PROTEÇÃO	2	2%
PÁ DANIFICADA	1	1%
TOTAL	133	100%

Os dados mostrados compreendem todos os modos de falha da parte mecânica do sistema veneziana, tais como: desajuste de micro atuador (veneziana aberta e fechada), queima de motor, cisalhamento de varão e folga de mancal. Não foi possível extrair do banco de dados o exato modo de falha que gerou a intervenção da manutenção, fato este que compromete uma análise quantitativa com maior riqueza de detalhes. Caso as falhas pudessem ser separadas por modo de falha, o comportamento estatístico de desgaste mecânico, falha aleatória, ou mortalidade infantil, teriam um maior valor agregado para as tomadas de decisões da manutenção.

As falhas foram organizadas por equipamento, determinando-se o intervalo de tempo entre as diversas falhas, conforme tabela 5.

Tabela 5 – Tabela de falhas de venezianas por ventilador da linha 1-Azul - Continua

UV	LOCAL	EQPTO	DIAS						
			1ºfalha	2ºfalha	3ºfalha	4ºfalha	5ºfalha	6ºfalha	7ºfalha
SAN	SV504	E01	2081						
		E02	2026						
TRD	Estação	I01	1359	446	49	164	14	259	532
		I02	448						
TRD	PV 292 (E2.2)	E01	924	931	153				
		E02							
		E03	2851						
LUZ	Estação	I01							
		I02							
		I03							
LUZ	SV 359-0 (E3.1)	E01							
		E02							
		E03							
BTO	Estação	I01	930	1136					
		I02							
BTO	PV 255 (E3.2)	E01							
		E02							
		E03	896	108	220	165	514	44	
PSE	Estação – L1	E01							
		E02							
PSE	PV 181 (E3.4)	E01							
		E02							
		E03							
LIB	Estação	I01	3374	100	162				
		I02	3243						
LIB	SV 369-0 (E4.1)	E01							
		E02							
JQM	Estação	I01	1205						
		I02	2869						
JQM	SV 290 (E4.2)	E01	771	237	378	212	503	1491	
		E02	2451						

Tabela 5 – Tabela de falhas de venezianas por ventilador da linha 1-Azul - Conclusão

UV	LOCAL	EQPTO	DIAS						
			1ºfalha	2ºfalha	3ºfalha	4ºfalha	5ºfalha	6ºfalha	7ºfalha
VGO	Estação	I01	2332	679					
		I02							
VGO	SV 235-36 (E5.1)	E01							
		E02	1669						
PSO	Estação – L2	I01	637	113	181	24	264		
		I02	755	475	487				
PSO	SV 279-0 (E5.2)	E01	3271						
		E02							
ANR	Estação	I01							
		I02							
ANR	SV 343 (E6.1)	E01							
		E02	2823						
VMN	Estação	I01	2436	259	842				
		I02	331						
VMN	SV 526 (E6.4)	E01	504						
		E02	479	300					
SCZ	Estação	I01	1793	800					
		I02	2606						
SCZ	SV 586 (E7.2)	E01							
		E02	601	767	1130				
ARV	Estação	I01							
		I02							
ARV	PV 350 (E7.5)	E01							
		E02	2950						
SAU	Estação	I01							
		I02							
SAU	SV 404 (E8.2)	E01							
		E02							
JUD	Estação	I01	1483	1501					
		I02	2491	1134					
CON	SV 768 (E9.1)	E01	1830						
		E02							
CON	Estação	I01	3363	196					
		I02	790	2012	64				
CON	SV 545 (E9.3)	E01							
		E02							
JAB	Estação	I01							
		I02							

A tabela 6 mostra os equipamentos agrupados por número de falhas no período, bem como o percentual destes em relação ao total de ventiladores instalados que possuem veneziana.

Tabela 6 - Falhas por equipamento, referente aos componentes mecânicos, linha 1-Azul

Nº EQUIPAMENTOS	Nº FALHAS	EQUIPAMENTOS
36	0	52,17%
16	1	23,19%
7	2	10,14%
6	3	8,70%
0	4	0%
1	5	1,40%
2	6	2,90%
1	7	1,40%

3.3 ANÁLISE DOS DADOS DE FALHA

A reincidência das falhas ressaltada na tabela 5, como exemplo do insuflador I01 da estação Tiradentes (TRD), necessita de algumas análises adicionais, como: este equipamento tem a mesma condição operacional que os demais, os materiais utilizados neste, foram os mesmos que dos demais. Analisando-se os dados do insuflador I02 no mesmo canal, verifica-se que este possui um comportamento próximo dos outros como mostrado na tabela 5, ou seja, apresentou apenas uma falha no período estudado. Por isso calculou-se a confiabilidade do I01 de TRD, levando-se em conta as falhas deste equipamento.

Os dados listados na tabela 5 foram organizados para análise quantitativa utilizando o software Weibull++ (RELIASOFT), utilizando o método da máxima verossimilhança. Gerou-se um fólio de tempo até a falha com suspensões a direita, a fim de tratar

aqueles equipamentos que passaram os dez anos sem falhar, utilizando ainda um intervalo de confiança de 90%. A curva da função da confiabilidade da veneziana é apresentada na figura 24.

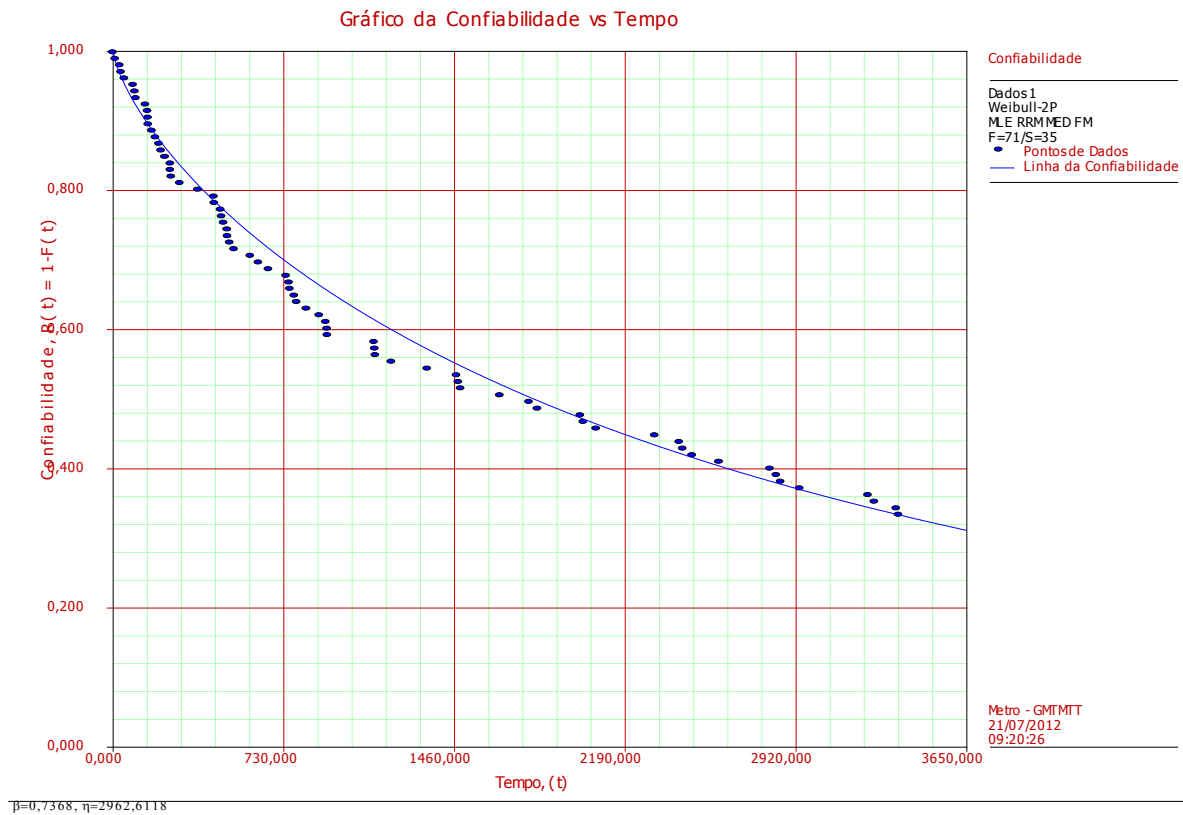


Figura 24 - Curva da função da confiabilidade da veneziana – Weibull II – todas as falhas

Tabela 7 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull

Tempo (dias)	$R(t) = \left(\exp - \left[\frac{t}{\eta} \right]^\beta \right)$	Beta (β)	Eta (η)
365	0,8075	0,7368	2962,62

A tabela 7 mostra os parâmetros extraídos da distribuição apresentada na figura 24. É possível observar que as falhas de venezianas dos ventiladores possuem parâmetro $\beta < 1$, indicando um sistema em mortalidade infantil, sendo necessárias averiguações

nas tarefas das manutenções de rotina, qualidade dos materiais utilizados, treinamento da mão-de-obra e pendências de projeto e/ou instalação.

Para o melhor entendimento do comportamento destas falhas, antes da pesquisa em campo, elaborou-se um segundo fólio de tempo até a primeira falha, desprezando-se as falhas reincidentes, mas mantendo as suspensões a direita daqueles equipamentos que não apresentaram falhas no período. Adotou-se agora o modelo Weibull com três parâmetros, dentro do método de máxima verossimilhança e depois um terceiro modelo utilizando novamente o Weibull com dois parâmetros. Obtiveram-se então as curvas expostas nas figuras 25 e 26, respectivamente:

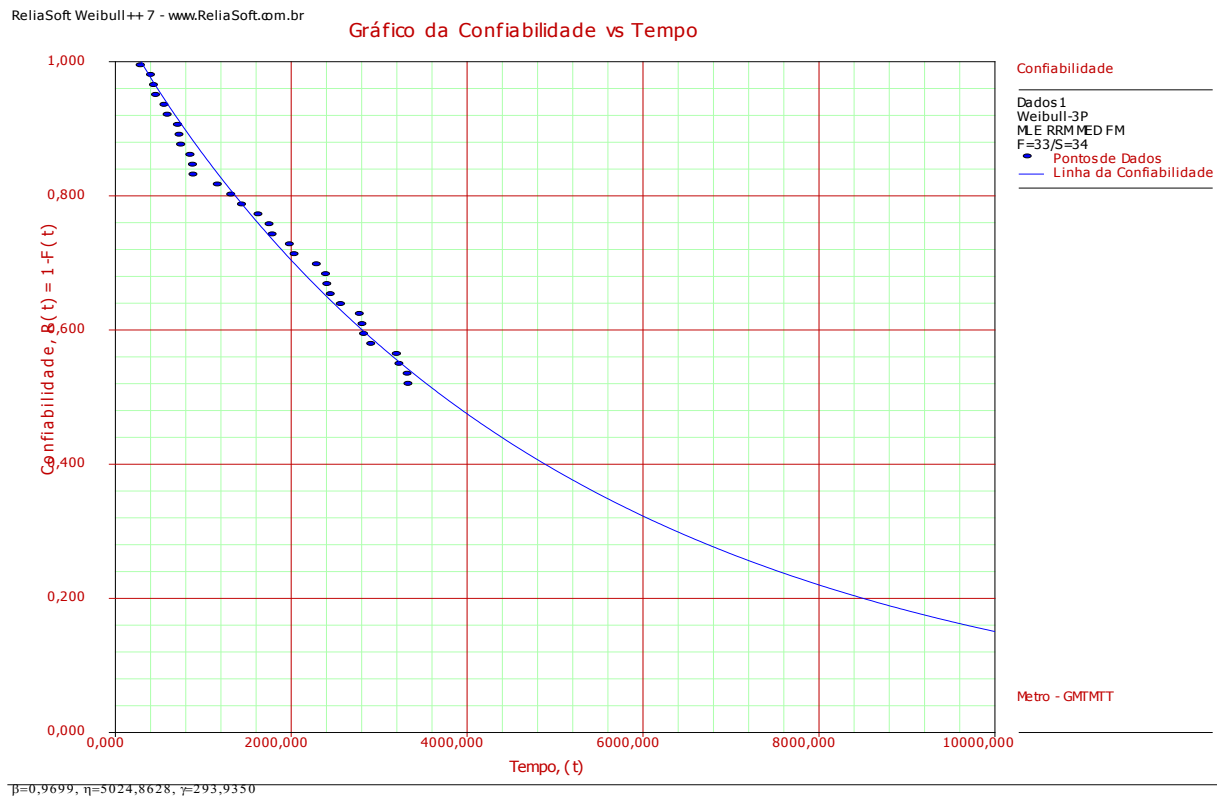


Figura 25 - Curva da função da confiabilidade da veneziana – Weibull III - até 1º falha

Tabela 8 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull

Tempo (dias)	$R(t) = \left(\exp - \left[\frac{t - \gamma}{\eta} \right]^\beta \right)$	Beta (β)	Eta (η)	Gama (γ)
365	0,9841	0,9699	5.024,86	293,94

ReliaSoft Weibull++ 7 - www.ReliaSoft.com.br

Gráfico da Confiabilidade vs Tempo

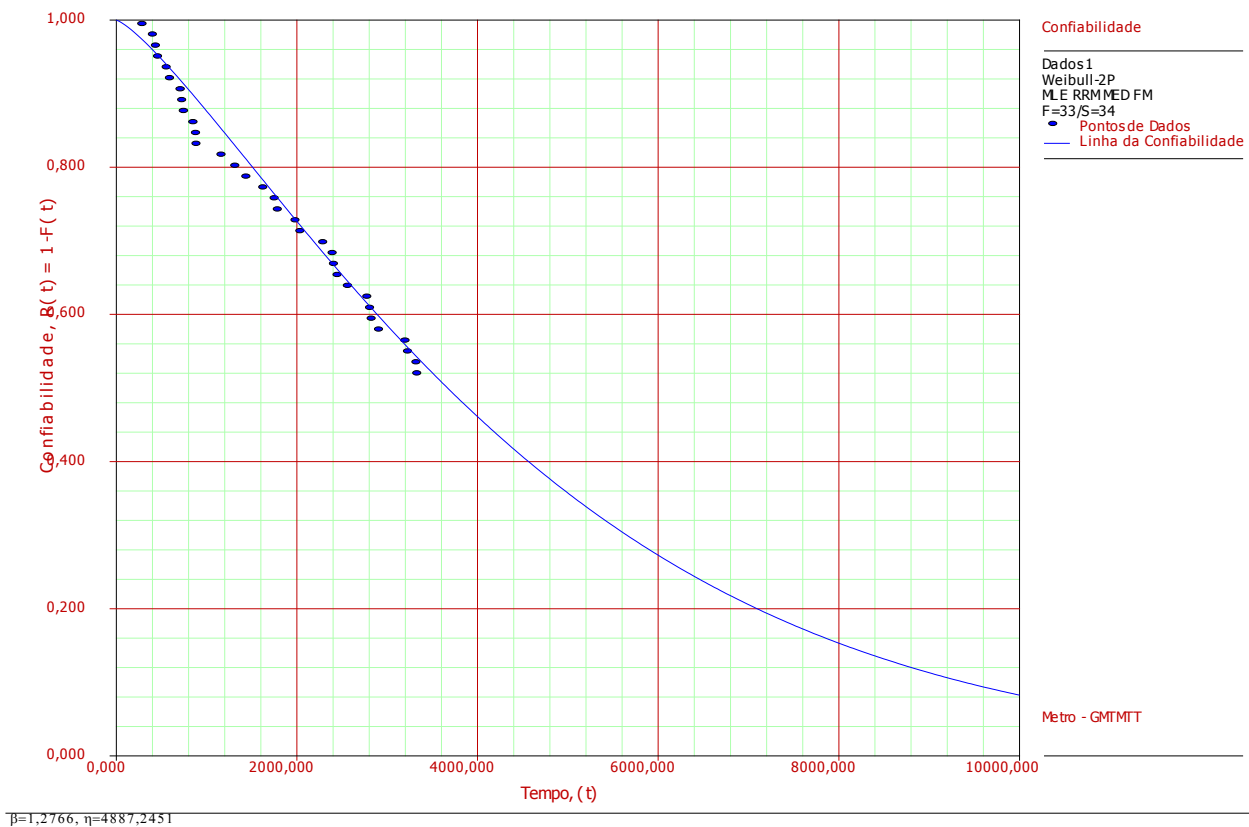


Figura 26 - Curva da função da confiabilidade da veneziana – Weibull II - até 1ª falha

Tabela 9 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull

Tempo (dias)	$R(t) = \left(\exp - \left[\frac{t}{\eta} \right]^\beta \right)$	Beta (β)	Eta (η)
365	0,9642	1,2766	4.887,25

Verifica-se, conforme mostrado na tabela 8, fator de $\beta=1$, e vida característica de 5.024,86 dias, com um $\gamma = 293$ dias. Pelo modelo ter apresentado o γ com um valor de tempo próximo do intervalo de tempo entre as atividades de manutenção preventivas (periodicidade anual) e o parâmetro de forma β igual a um (1), sinaliza-se uma efetividade das rotinas de manutenções anuais, considerando a operação até o momento da ocorrência da primeira falha no sistema, bem como a previsibilidade do número de ocorrências, já que o sistema apresenta uma taxa de falha constante.

Analisando-se ainda os dados de tempo até a primeira falha com a distribuição Weibull II, obtêm-se $\beta=1,2766$, revelou uma taxa de falha levemente crescente, apontando desgaste suave do sistema, ratificando a análise realizada do primeiro modelo, quanto à efetividade das manutenções preventivas.

Os parâmetros de forma encontrados nas distribuições de comportamento de tempo até a primeira falha no sistema veneziana indica que o tempo não contribui de forma decisiva na presença de falha futuras, quando analisado β próximo de um (1), ou ainda influencia de forma tímida, considerando $\beta=1,2766$ (CARAZAS, 2006).

Segundo (CARAZAS, 2006) neste período, onde o sistema apresenta taxa de falha constante, pode-se considerar como boa às atividades da manutenção e operação do sistema. Deve-se evitar a taxa de falha crescente, quando o equipamento atinge o fim de sua vida útil, surgindo assim um número de elevadas falhas inesperadas.

Buscando aumentar a disponibilidade do sistema serão investigadas as falhas reincidentes, e inseridas na distribuição do modelo que contabilizou a todas as falhas de veneziana do período, apresentando os parâmetros de forma $\beta=0,7368$ e de escala $\eta= 2.962,62$ dias (vida característica), propondo-se adequações nas rotinas da manutenção para se atingir os parâmetros de forma $\beta=1,2766$ e de escala $\eta=4.887,25$ dias, conforme tabela 9.

3.4 DIAGNÓSTICO

Fez-se uma pesquisa dos modos de falha para tentar entender a causa raiz do problema que explique as sucessivas reincidências em alguns equipamentos. Foram analisadas 22 falhas em quatro (4) equipamentos, selecionados somente aqueles que tenham falhado por cinco (5) ou mais vezes, conforme mostrado na tabela 10.

Tabela 10 - Análise modo de falha veneziana

EQUIPAMENTO	MOTOR QUEIMADO	MICRO	ATUADOR
I01/TRD	3	1	2
E03/PV255	0	2	4
E01/SV290	1	2	2
I01/PSO	1	0	4
Total	5	5	12

Nota-se que as falhas são majoritariamente atribuídas ao desajuste dos atuadores. Após pesquisa do grupo de falhas elencadas na tabela 9, certificou-se, após visita em campo, que a causa raiz do problema são as folgas existentes nos mancais das aletas. A manutenção preventiva, com o intuito de disponibilizar o equipamento com o menor tempo possível, compensa a folga dos mancais através do reajuste da haste de acionamento do atuador ou ainda pelo reajuste do posicionamento dos micros de fim de curso, que por muitas vezes são apontados como o causador do problema, no entanto, trata-se da consequência do desgaste dos mancais.

Os efeitos se propagam inclusive para o motor, ocasionando a quebra ou empenamento do varão, pois a folga não permite o acionamento do micro de fim de curso, fazendo com que o motor da veneziana trabalhe ininterruptamente até a queima do motor.

A folga aqui detectada não é de simples tratamento, pois para a substituição destes mancais é necessária a remoção de todo o conjunto veneziana para reparo em oficina. Esta remoção gera uma grande indisponibilidade no sistema, no entanto, esta intervenção é a solução ideal para diminuir efetivamente a quantidade de falhas reincidentes no conjunto veneziana.

Se não tratado, o problema tende a se agravar já que se trata de um equipamento mecânico sujeito ao desgaste e a fadiga. Deverá se elaborar um plano de ação para a substituição gradativa dos mancais, priorizando aqueles que tenham apresentado um maior número de falhas recorrentes.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS COMO FERRAMENTA DE GERENCIAMENTO

Com o intuito de explorar os dados de confiabilidade encontrados, será adotada a curva de confiabilidade do modelo que contempla todas as falhas do período entre 2002 até 2012, a fim de se estimar previsões para o gerenciamento da manutenção.

Foram realizados simulações de confiabilidade do sistema veneziana para missão de 30, 185, 365, 1825, e 3650 dias, com um nível de confiança bilateral de 90% resultando nos valores da tabela 11 e 12.

Tabela 11 - Confiabilidade para tempo de serviço – Weibull

ENTRADA DO USUÁRIO:		DIAS			
Tempo Final da Missão	30	185	365	1825	3650
Nível de Confiança	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Superior	0,9813	0,9149	0,8543	0,5632	0,3859
Confiabilidade	0,9667	0,8785	0,8075	0,4967	0,3116
Inferior	0,941	0,8281	0,7481	0,4261	0,2397

Tabela 12: Probabilidade de falha para tempo de serviço – Weibull

TEMPO (DIAS)	$F(t) = 1 - R(t)$	PROBABILIDADE DE FALHA
30	0,0333	3,33%
185	0,1215	12,15%
365	0,1925	19,25%
1825	0,5033	50,33%
3650	0,6884	68,84%

Com base nos valores de confiabilidade gerados tem-se uma probabilidade de insucesso na operação da veneziana, num período de 365 dias, de aproximadamente 19,25% ou seja, espera-se 19 falhas caso houvesse um universo de 100 equipamentos instalados, como existem 69 exaustores com venezianas, são esperadas 13 falhas nos próximos 365 dias subsequentes à análise. Caso se busque um número mais conservador adota-se o limite de confiança inferior que apresenta uma probabilidade de falha de 25,19%, sendo assim, espera-se 17 falhas. Ainda como uma terceira alternativa, supondo que haverá melhorias com as alterações a serem implementadas nos planos de manutenção, adota-se o limite superior que apresenta uma probabilidade de falha de 10,05%, ou seja, serão esperadas 10 falhas para a missão de 365 dias, conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 13 - Número de falhas esperadas em 365 dias – Weibull

MISSÃO DE 365 DIAS	CONFIABILIDADE	PROBABILIDADE FALHA	FALHAS ESPERADAS
Limite superior	85,43%	14,57%	10
Confiabilidade	80,75%	19,25%	13
Limite inferior	74,81%	25,19%	17

Adotou-se a veneziana para os estudos quantitativos em razão de apresentar o maior número de falhas no período estudado, mas a sequência aqui descrita poderá ser aplicada para qualquer subsistema.

Com base no número de falhas esperado para o período de 365 dias, podem-se estimar os recursos de mão-de-obra que serão empregados na manutenção do sistema veneziana. Considerando um deslocamento de 45 minutos até o local, uma intervenção média de 6 horas, mais 45 minutos para o retorno até a base e mais 30 minutos para o apontamento da falha, teremos um valor médio de consumo de mão-de-obra de 16 horas por falha (são necessários, no mínimo, dois funcionários para o atendimento de qualquer falha - 2 homens x 08 horas), como detalhado na tabela 14 e 15.

Tabela 14 - Tempo de intervenção médio para venezianas

ATIVIDADE	MINUTOS
Deslocamento ida	45
Atuação	360
Deslocamento volta	45
Apontamento	30
Total	480

Tabela 15 - H x h para atendimento de falhas no período de um ano - Veneziana

MISSÃO DE 365 DIAS	FALHAS ESPERADAS	H X h
Limite superior	10	160
Confiabilidade	13	208
Limite inferior	17	272

Com o tempo médio de intervenção e as quantidades de falhas esperadas, obtém-se números de referência para otimização do quadro de mão de obra para o atendimento do subsistema estudado quantitativamente.

Para o dimensionamento de sobressalentes, devido à falta de dados precisos nos apontamentos de causa da raiz do problema, o sistema veneziana foi tratado como uma caixa contendo motoredutor, atuador, micro sensor veneziana aberta, micro sensor veneziana fechada e conjunto de mancais. As 13 falhas esperadas para uma missão de 365 dias, não indica qual o componente entrará em falha, pois é baseado na confiabilidade do sistema veneziana, bem como considerou a todas as reincidências causadas pelas folgas dos mancais das venezianas.

Para mitigar as incertezas relatadas adota-se o modelo de Weibull II até a 1º falha, pois com este modelo já serão removidas reincidências geradas pela folga dos mancais, bem como apresenta o parâmetro de forma $\beta=1,2766$, ou seja, indica uma taxa de falha com comportamento mais uniforme. A taxa de falha do modelo é calculada segundo a

eq.(2.3) e utilizando os parâmetros da tabela 9, para uma missão de 365 dias, com intervalo de confiança bilateral de 0,9, obtém-se um taxa de falha $\lambda=0,0001$.

Admitindo esta taxa, como constante, multiplica-se pelo tempo da missão (365 dias) e pelo número de venezianas instaladas (69), conforme eq. (3.1).

$$\begin{aligned} N &= \lambda . t . n \\ N &= 0,0001 . 365 . 69 \\ N &= 2,51 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Sendo: N = número de falhas esperadas

λ = taxa de falha instantânea

t = tempo final da missão (dias)

n = número de venezianas instaladas

Para o dimensionamento de sobressalentes, admite-se que o sistema veneziana falhará três (3) vezes nos próximos 365 dias, utilizando-se um intervalo de confiança de 90% na análise de confiabilidade. Com base nesta análise devem-se adquirir os seguintes componentes:

- Três (3) moto redutor;
- Três (3) atuador;
- Três (3) micro sensor de veneziana;
- Três (3) conjunto de mancais para aletas de veneziana.

Caso entenda-se necessária uma maior precisão no quantitativo, em razão da importância estratégica, custo dos componentes e demora na aquisição deste, devem-se refazer os cálculos de confiabilidade e taxa de falha com intervalos de confiança maiores agregando-se dessa maneira maior valor estatístico ao modelo.

Todas as etapas aqui elencadas foram citadas de forma simplificada com o intuito de expor a metodologia para elaboração de procedimentos de manutenção eficientes, buscando a melhoria contínua em nossos processos, sem esquecer na limitação a que está sujeito todo equipamento fornecido, bem como na importância da experiência dos colaboradores que trabalham para garantir o bom desempenho do sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação ao levantamento de falhas nos subsistemas de Controle e Elétrico da linha 2 - verde, principalmente com o equipamento CLP (controlador lógico programável), houve dificuldade para se prever os desvios no funcionamento do seu programa operacional em função de não se ter acesso e conhecimento técnico do programa operacional em sua memória interna. O que agrava o fato é que este programa não faz parte do pacote contratado com a empresa fornecedora dos ventiladores. Felizmente para os novos equipamentos da linha 1 - azul (extensão norte) em instalação, escopo deste trabalho, o CLP está sendo fornecido com programa aberto, eliminando o problema relatado. É importante relatar que perturbações transitórias na rede de alimentação elétrica de 125VCC, embora raras no sistema elétrico do Metrô, também provocam o mau funcionamento do CLP.

Durante análise dos equipamentos em campo foi constatado uma situação crítica no painel da IHM (interface homem máquina), local onde fica alojado o CLP. Os relés projetados são relés pequenos, em miniatura, fixados em trilhos muito próximos uns aos outros, no formato de régua de bornes, gerando dissipação de calor excessivo no local. Este fato torna a ventoinha de painel, instalada como exaustor, um componente crítico para o Sistema de Controle no local, pois caso entre em desvio poderá provocar a queima dos relés do CLP.

Já no caso dos *Soft Starters* foi importante a constatação de erros de parametrização do software interno devido deficiências de conhecimento principalmente da mão de obra envolvida nas atuações.

Os inversores de frequência são componentes que também merecem atenção no sentido de que necessitam mão de obra capacitada para análise de desvios e principalmente na sua parametrização. Alguns modelos possuem cerca de 500 variáveis para inserção de dados, realmente chega a ser um exagero, mas são

equipamentos que cada vez mais estão nos acionamentos de motores nos circuitos recentes.

No levantamento de falhas do subsistema Mecânico, realizado entre 2002 a 2012, na linha 1-azul, conforme verificado nas ocorrências abertas pela Gerência de Operação (GOP) e diagnosticado como falha pelas equipes da manutenção extrai-se que 53% das falhas são atribuídas ao sistema de venezianas. Quando apuradas e somadas às intervenções feitas mediante inspeção da Manutenção (Detectados pela Manutenção - DM), neste mesmo sistema, este número chega a 70%.

Todos estes modos de falha destacados comprometem a função primária da Unidade de Ventilação, mesmo em situações de emergência.

Com relação aos planos de manutenção, as atividades preventivas nas venezianas possuem periodicidade anual, na qual são realizadas as seguintes ações:

- Inspeção e ajuste nas chaves de fim de curso
- Medição da corrente dos motores das venezianas
- Medição da tensão e seu equilíbrio entre fases do motor
- Lubrificação de haste e articulações
- Verificações das folgas em todas as articulações e buchas
- Troca do lubrificante do moto redutor

As atividades de limpeza são realizadas semestralmente, sendo realizadas as seguintes atividades:

- Remover o pó do conjunto moto redutor com escova de cerdas
- Limpar o conjunto com pano úmido
- Limpar todas as chaparia do ventilador e aletas das venezianas com pano úmido.

Os desvios de *sobre temperatura* no mancal do motor também apresentou um número expressivo de falhas, tendo como origem o defeito no componente sensor ou ainda um desajuste do relé deste dispositivo, no entanto, como muitas vezes a diferenciação destas no apontamento dos atendimentos das falhas não são claras, tratou-se de forma única estes dois modos de falhas. Apesar do número relevante de falhas neste componente estas não comprometem o funcionamento dos ventiladores em situações de emergência.

Já as atividades de limpeza realizadas semestralmente, por empresa contratada, não deverá ter sua periodicidade alterada; no entanto, cabe um trabalho junto à empresa contratada visando uma orientação especial quanto aos cuidados a serem tomados na limpeza dos componentes que compõem o sistema de venezianas.

4.1 ANÁLISE DAS FALHAS NO SISTEMA DE VENEZIANAS

A respeito das falhas com o sistema de venezianas alguns aspectos devem ser considerados visando reflexão para uma correta tomada de decisão. O fato de haver grande quantidade de ocorrências detectadas pela manutenção (55) contra uma quantidade bem menor de falhas (16), conforme análise das figuras 22 e 23 mostra uma informação curiosa. Analisando os diagramas elétricos nota-se que a veneziana pode estar em desvio com o ventilador em funcionamento, pois a veneziana abre para liberar o fluxo de ar no canal de ventilação ficando travada nesta posição. Somente após esta ação, o circuito elétrico do ventilador tem permissão para ligar. O contrário não é possível, pois se a veneziana estiver em falha fechada, neste momento já não permite o funcionamento do ventilador.

Esta análise é importante visando perceber que a maioria das ocorrências detectadas pelas equipes de manutenção (DM) no sistema de venezianas não impedia o

funcionamento do equipamento. Aliás, este fato pode explicar o porquê dos operadores das estações não notarem nenhum desvio no equipamento.

Propõem-se algumas alterações na forma de apontamento das falhas, tirando-se o benefício da modernização dos controles instalados nos novos sistemas de ventilação, estando estes equipados com IHM (Interface Homem Máquina), dispondo na tela, o tempo de operação dos ventiladores.

As equipes de manutenção corretiva, preventiva e preditiva deverão registrar no SIGMA (Sistema de Informação da Manutenção) o número de horas operacionais do sistema em qualquer intervenção realizada ou ainda anormalidade verificada. A partir desta nova rotina de apontamento pode-se obter um banco de dados de falhas com um maior grau de confiabilidade para definir-se o ponto ótimo para substituição dos componentes, ajustes ou ainda optar-se de forma consciente pela corretiva.

Planos de manutenção baseados em confiabilidade são documentos dinâmicos e devem constantemente ser atualizados com base nas falhas e ocorrências levantadas.

4.2 ESTUDOS DO IMPACTO DAS INTERVENÇÕES NAS PORTAS DE CANAIS E ENTRE CANAIS DE VENTILAÇÃO

As portas entre canais de ventilação facilitam os trabalhos das equipes de manutenção, pois agem como uma passagem física para comunicação entre os equipamentos dos ventiladores no canal de ventilação. Possuem chaves de fim de curso fixadas aos batentes destas portas que inibem o circuito elétrico dos motores quando estas são abertas.

O total de intervenções desta natureza levantadas na linha 1-azul, no período compreendido entre maio de 2002 a maio de 2012, foi de 111 registros. Este tipo de ocorrência gera em média um consumo de mão-de-obra de técnicos de corretiva conforme mostrado na tabela 16.

Tabela 16 – Análise de mão de obra (Hxh) em ocorrências de portas entre canais de ventilação

Atividade	Tempo ocorrência (minutos) - Hxh
Deslocamento até o local	45
Registrar a entrada na SSO e pegar chaves	15
Acesso aos canais	15
Verificação e atuação	60
Retorno à base	45
Total	180

Qualquer atuação realizada pela manutenção é realizada por no mínimo dois técnicos. Uma ocorrência desta natureza representará um custo para empresa de seis (6) horas de técnico por ocorrência.

Estima-se um tempo médio de indisponibilidade de equipamento de quatro (4) horas por ocorrência já que entre o intervalo da sinalização do alarme até a abertura da ocorrência no Sigma e a própria atuação da manutenção para este tipo de equipamento, contará com mais uma hora.

Multiplicando-se as 111 ocorrências x 6 horas de técnico estima-se que a empresa tenha utilizado 666 horas de técnico no período de dez (10) anos, e uma indisponibilidade de 444 horas dos ventiladores, por conta de portas abertas ou por defeito nos componentes que monitoram o estado destas.

Com base nestas informações, definiu-se no desenvolvimento do projeto executivo dos sistemas, que as portas deveriam continuar sendo monitoradas, sem bloquear o funcionamento dos ventiladores.

5 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido possibilitou a elaboração de uma nova estratégia de atuação da manutenção para aumento da disponibilidade do sistema de ventilação.

A elaboração do FMEA do sistema focou os sistemas mecânicos, por ter-se verificado que as falhas elétricas e eletrônicas eram majoritariamente motivadas por problemas de projeto e instalação, não permitindo a manutenção estabelecer rotinas de manutenção preventivas além da tarefa de busca de falhas já adotada, a fim de se aumentar a disponibilidade do sistema.

A pesquisa focou o subsistema veneziana devido ao alto número de falhas apresentadas no período, não se levando em conta questões relativas à manutenabilidade, tal como, tempo consumido para sanar cada modo de falha.

Com os resultados das ferramentas de probabilidade e estatística, nota-se que as falhas mecânicas não eram provenientes de deficiências quanto às atividades preventivas ou a periodicidade que estas eram realizadas, mas sim, da atuação corretiva destas falhas.

Inicialmente pensou-se em se adequar o plano de manutenção agregando uma tarefa de busca de falha de periodicidade semestral, junto a uma tarefa já existente, de limpeza superficial dos painéis e equipamentos. No entanto, após a utilização das ferramentas quantitativas de confiabilidade, através dos modelos matemáticos gerados, notou-se que a disponibilidade não era afetada pela ineficiência das atividades de manutenção preventiva ou ainda pela periodicidade inadequada, e sim por um modo de falha gerado por desgaste dos mancais, detectados pela manutenção. No entanto, a atuação da manutenção ao modo de falha apresentada era realizada de forma paliativa a fim de se evitar a indisponibilidade do equipamento. Percebe-se que esta prática não se mostra a mais adequada, já que causa a reincidência das falhas, podendo ocasionar

a falha funcional do sistema em situações de emergência. Caberá à elaboração de um plano de ação contemplando a substituição dos mancais das venezianas, e para tal, deverá haver o envolvimento do departamento da oficina e da área de provisionamento de materiais, pois estas deverão estar previamente preparadas com os recursos necessários para atender prontamente a equipe de manutenção, desta forma, reduzindo a indisponibilidade do equipamento.

Uma hipótese levantada no início do trabalho ficou evidenciada nos apontamentos do banco de dados da manutenção (SIGMA). Há problemas quanto à qualidade dos dados inseridos no banco de dados da manutenção com relação às ocorrências nos equipamentos. Há outras variáveis que favorecem esta afirmação como, por exemplo, várias pessoas em diversas equipes de manutenção para realização desta tarefa, fato que dificulta uma uniformização destas informações no banco de dados.

5.1 PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

Visto a facilidade ao acesso a equipamentos de controle eletrônico nos novos fornecimentos, sugere-se um estudo para o monitoramento em tempo real dos mancais dos motores dos ventiladores, já que são componentes críticos ao desempenho do sistema em situações de emergência e eventuais intervenções nos motores utilizam recursos de mão-de-obra consideráveis. Por estes motivos, haverão ganhos na vida útil dos equipamentos evitando-se intervenções desnecessárias.

Durante o desenvolvimento do trabalho surgiu uma ideia que, embora não seja novidade, merece ser analisada sob o ponto de vista da viabilidade de execução: a possibilidade de explorar o fluxo de ar nos túneis para geração de energia eólica.

Nos diversos trabalhos com intuito de entendimento do deslocamento natural do ar no interior das estações metroviárias verificou-se que, em determinadas localidades, há um

deslocamento constante (algo em torno de 3m/s – medição com anemômetro) mesmo sem circulação dos trens nos túneis. Imagine, então, com a circulação de trens na operação comercial que compreende o período das 4h40 as 00h30 aproximadamente.

Caso se consiga alimentar a iluminação parcial das saídas de emergência nos túneis metroferroviários, já seria um grande avanço, pois não haveria grande investimento visto que os equipamentos serem conhecidos da comunidade científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BATISTA, J. **Análise de Confiabilidade**. Disciplina de pós-graduação e apostila do curso de Tecnologia Metro ferroviária da Universidade de São Paulo – USP (PECE). 2012.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC – Controle da Qualidade Total**. Ed 8. Nova Lima – Minas Gerais, 2004.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Departamento de Projeto Eletromecânico. **Especificação Funcional do Sistema de Ventilação Principal do Trecho SAN/TUC – Linha 1**. São Paulo, 2008.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. **Indicadores para Controle de Processos – PE-20-0025. Instrumento Normativo**. Gerência de Manutenção. São Paulo, 2012.

COSTA, Renato Ferreira da; JÚNIOR, José de Araújo; MOURIÑO, Ricardo Frade; YAMAKAWA, Paulo Ricardo. **Automatização de Sinalização de Rota de Fuga (Trecho entre Estações)**. São Paulo, 2012.

FELIX, Érico Pessoa. **Análise de confiabilidade de sistemas eletrônicos complexos baseada em ensaios acelerados de vida**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-09052007-172853/>>. Acesso em: 2012-02-14.

FREITAS, Marta. A.; COLOSIMO, Enrico A. **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e testes de vida acelerados**. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni – UFMG, 1997.

GUEVARA CARAZAS, Fernando Jesús. **Decisões baseadas em risco - método aplicado na indústria de geração de energia elétrica para a seleção de equipamentos críticos e políticas de manutenção**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-31052011-144452/>>. Acesso em: 2012-02-13.

MIL-STD-1629A, MILITARY STANDART, **Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. Department of Defenses, USA, 1980.

MORA, José Carlos; TURRINI, Marcelo. **Gestão Integrada de Ativos**: Gerência de Manutenção da Companhia do Metropolitano de São Paulo. São Paulo, 2008.

MOUBRAY, John. **Reliability-centred maintenance. Manutenção Centrada em Confiabilidade: RCM II**. Biddles LTD., Guildford and King's Lynn. Lutterworth, Inglaterra, 2000.

MURAD, Carlos Alberto. **Desenvolvimento de novos produtos considerando aspectos de confiabilidade, risco e ferramentas de qualidade**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-29082011-111759/>>. Acesso em: 2012-02-13.

SAE Handbook, SAE J1739, **Potencial Failure Mode and Effects Analysis in design and potencial failure mode and effects analysis in Manufacturing and assembly process**. Manual SAE 1997.

NEVASPORT. Disponível em: <http://www.nevasport.com/noticias/art/20433/6-aniversario-del-desgraciado-accidente-de-Kaprun/> Acesso em 2012-06-17.

PALADY, Paul. **FMEA - Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. Ed. Livraria Triângulo LTD, 1997.

RELIASOFT. **Análise de Dados de Vida**. Apostila de treinamento módulo RS401. São Paulo, 2012.

REVISTA ÉPOCA. São Paulo: Editora Globo, Ed. 131, 20/11/2000.

SELLITTO, Miguel Afonso. BORCHARDT, Miriam. ARAÚJO, Daniel Ribeiro Campos de. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**: Uma abordagem quantitativa. Anais do XXIIº ENEGEP, Curitiba: 2002.

SELLITTO, Miguel Afonso. BORCHARDT, Miriam. ARAÚJO, Daniel Ribeiro Campos de. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. Revista Produção, v. 15, n. 1, p. 044-059, Jan./Abr. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/prod/v15n1/n1a04.pdf>>. Acesso em: 2012-02-13.

SELLITTO, Miguel Afonso. **Análise Estratégica Da Manutenção de uma Linha de Fabricação Metal Mecânica Baseada em Cálculos de Confiabilidade de Equipamentos**. GEPROS: Gestão da Produção, Operação e Sistema. Ano 2, vol 3, p 79-108. Rio Grande do Sul, 2007.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Editora Qualymark. Rio de Janeiro, 2005.

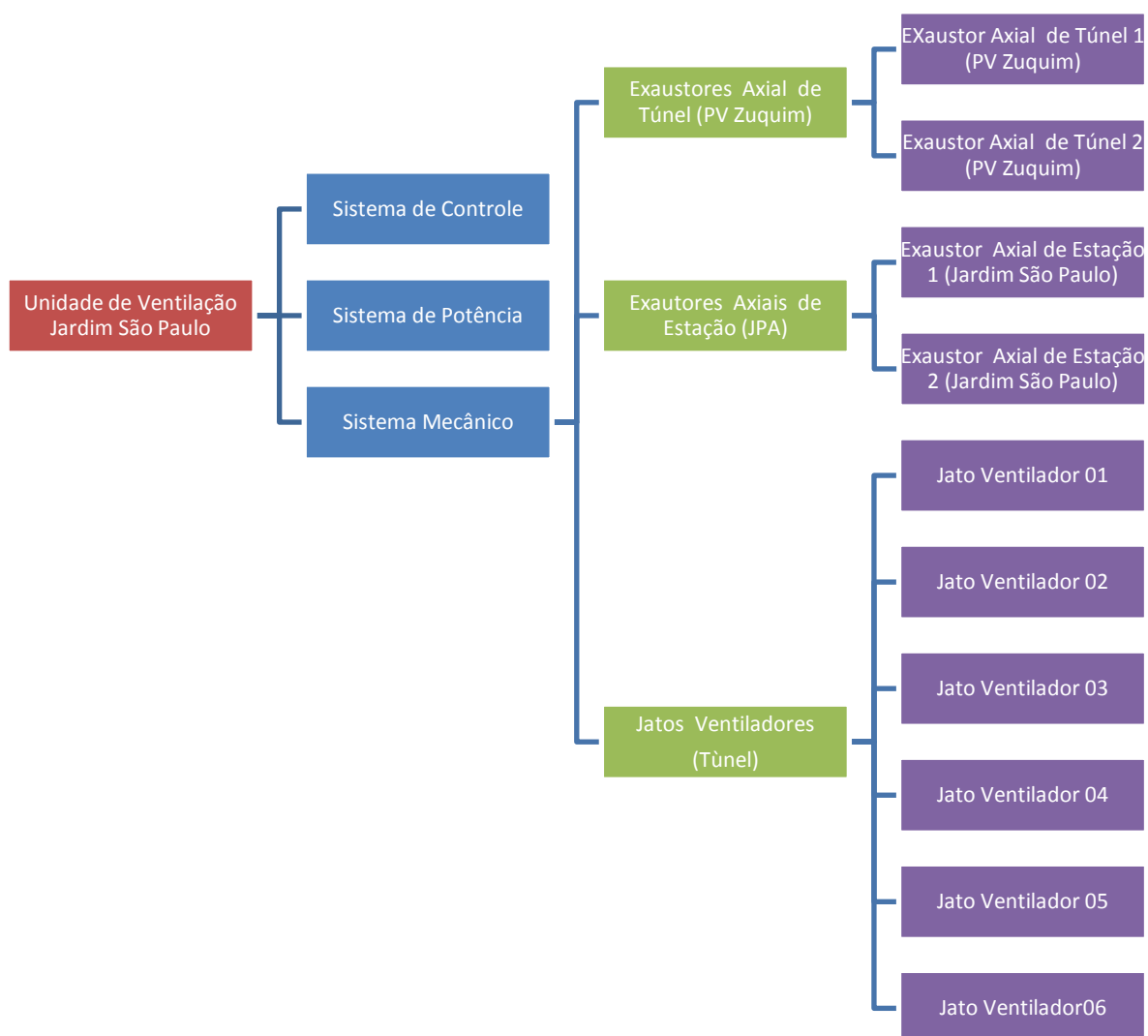
SOUZA, G. F. M.; MOLINARI, R. **Gerenciamento de Manutenção**. Disciplina de pós-graduação e apostila do curso de Tecnologia Metro ferroviária da Universidade de São Paulo – USP (PECE). São Paulo, 2011.

SOUZA, G. F. M. **Gestão de Ativo Baseada em Risco: A Proposta da Norma PAS-55**. Palestra do Programa de Inteligência Corporativa (PIC) realizada na Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô. São Paulo, 2012.

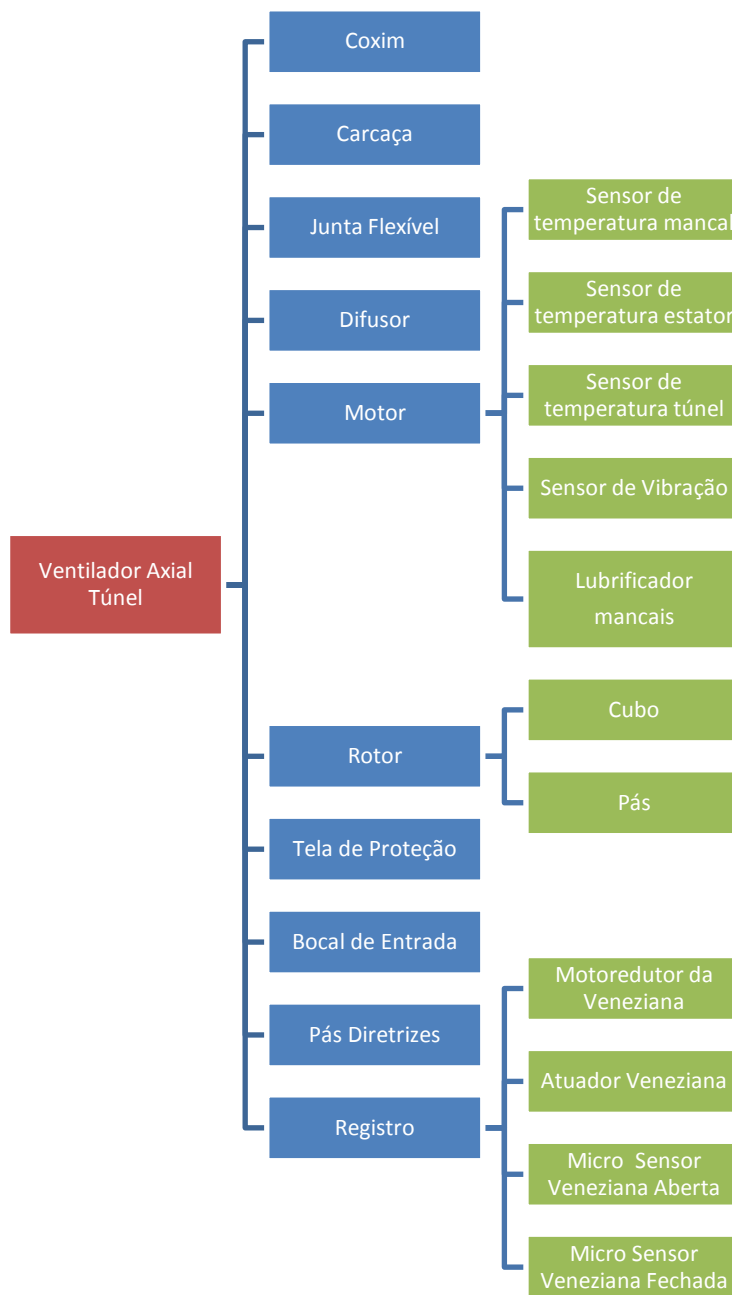
APÊNDICE

A.1 Árvore de funções do Sistema de Ventilação Principal

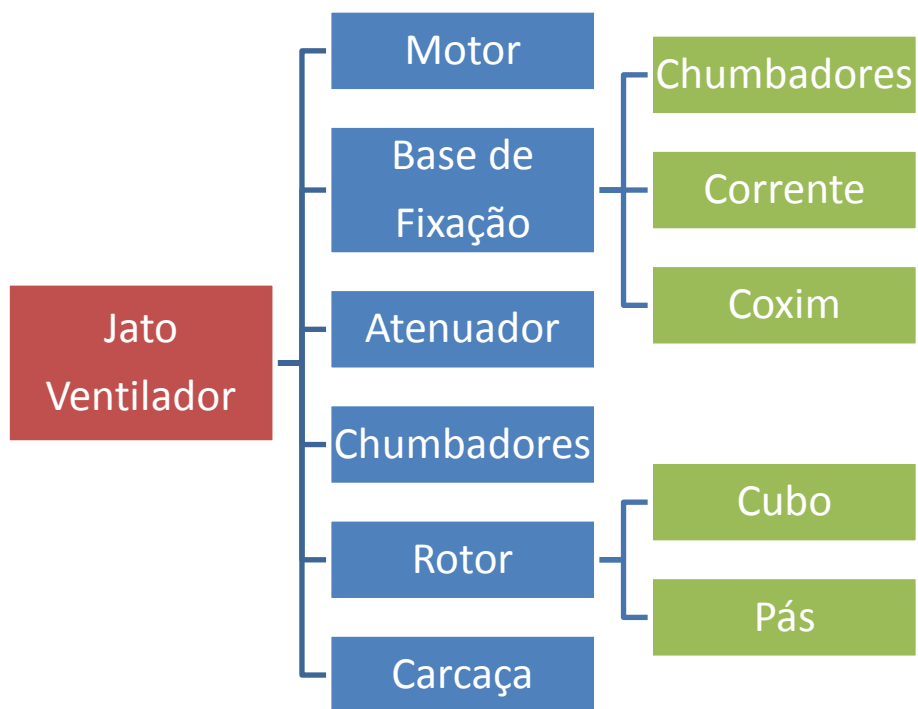
A.1.1 Divisão em três (3) partes - Sistema Mecânico, Elétrico e de Controle



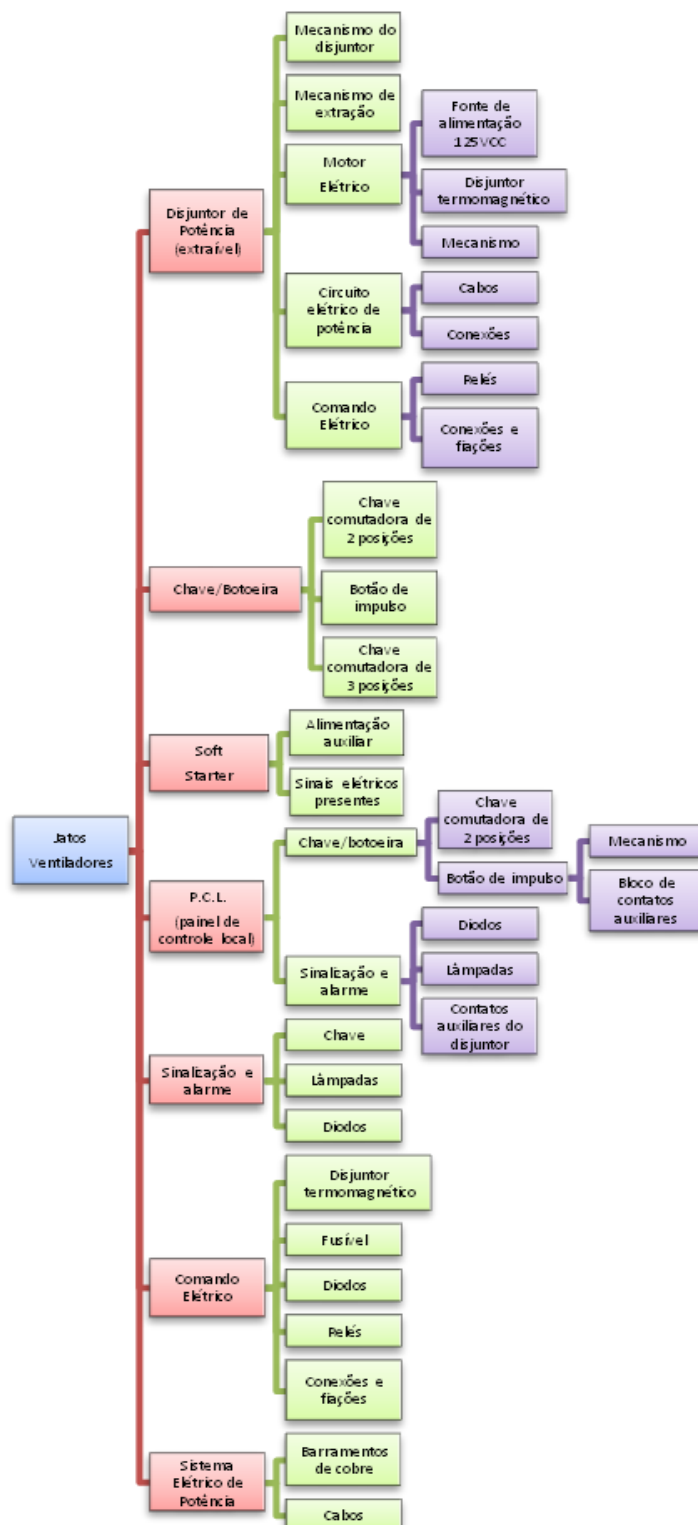
A.1.2 Árvore de Funções - Sistema Mecânico (ventilador axial de túnel)



A.1.3 Árvore de Funções - Sistema Mecânico (jato ventilador de túnel)



A.1.4 Árvore de Funções - Sistema Elétrico (jatos ventiladores)



A.2 FMEA - Sistema Mecânico

A.2.1 - Componente Coxim

Componente: Coxim								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção
Absorver vibração do ventilador	Incapacidade de absorver a vibração do ventilador	1) Deterioração do coxim por fadiga da mola	1) Deformação da carcaça 2) Transmitir esforços para o conjunto motor ventilador	2	1	1	2	Inspeção visual (2 meses)
	Ampliar a vibração, entrar em ressonância com a rotação do ventilador	1) Coxim fora da especificação	1) Deformação da carcaça 2) Transmissão de esforços para o motor e rotor 3) Trinca na estrutura civil 4) As pás poderão colidir com a carcaça	9	1	1	9	Inspeção visual (2 meses)

A.2.2 Componente - Junta Flexível

Componente: Junta flexível								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção
Evitar a propagação da vibração da carcaça para o difusor	Vazamento	1) Degradação do material por fadiga	1) Perda da estanqueidade, promovendo a redução na vazão	2	1	1	2	Inspeção visual (2 meses)

A.2.3 Componente - Difusor

Componente: Difusor								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Transformar parte da pressão dinâmica do ventilador em estática	Descolamento do fluxo de ar	1) O difusor foi montado com um ângulo maior que o de projeto	1) Regime turbulento do fluxo causará sobrecarga do motor	7	1	7	49	

A.2.4 Componente - Cubo

Componente: Cubo								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Transferir a rotação do motor para as pás	Não transferir a rotação para as pás	1) Desgaste da chaveta	1) Apresentará vibração e ruído excessivo, no funcionamento do rotor	4	1	3	12	Análise de vibração (2 meses)

A.2.5 Componente - Pás

Componente: Pás								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Converter a energia mecânica de rotação em diferença de pressão	Não converter a energia mecânica de rotação em v diferença de pressão	1) Pá trincada por fadiga 2) Pá degradada por erosão ou corrosão 3) Pá montada com ângulo incorreto	1) Apresentará vibração excessiva, que será proibido ao seu funcionamento 2) Redução de capacidade	8	1	4	32	Inspeção visual (1 ano) líquido penetração sob condição

A.2.6 Componente - Pás Diretrizes

Componente: Pás Diretrizes								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Reduzir perdas das componentes tangencias geradas no ventilador	Ineficiência	1) Pá trincada por fadiga	1) A sua quebra provocará danos severos ao equipamento	8	1	4	32	

A.2.7 Componente - Motor Redutor Veneziana

Componente: Motor Redutor Veneziana								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Acionar a veneziana	Não abrir	1) Travamento dos mancais por fadiga 2) Perda do isolamento pela ação da umidade, queima do bobinado 3) Falha da alimentação 4) Falha no sistema de controle 5) Contaminação do lubrificante do redutor	1) Não acionará a partida do motor do ventilador	8	10	1	80	Teste funcional (2 meses) troca do lubrificante (2 anos) medição de corrente (1 ano) limpeza (6 meses)
	Não fechar	1) Travamento dos mancais por fadiga 2) Perda do isolamento pela ação da umidade, queima do bobinado 3) Falha na alimentação 4) Falha no sistema de controle 5) Contaminação do lubrificante do	1) Curto circuito no ar no caso de falha de um ventilador	7	10	1	70	

A.2.8 Componente - Veneziana (haste + bucha)

Componente: Veneziana (haste + bucha)								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Regular a passagem do ar	Falhar fechada	1) Travamento das partes móveis por sujeira 2) Travamento das partes móveis por falta de lubrificação 3) Desgaste bucha 4) Fadiga haste	1) Queimar motor da veneziana 2) Não aciona a chave fim de curso 3) Não permite a partida do motor	8	5	1	40	Teste funcional (1 ano) lubrificação (1 ano) limpeza (6 meses)
	Falhar aberta	1) Travamento das partes móveis por sujeira 2) Travamento das partes móveis por falta de lubrificação 3) Desgaste bucha 4) Fadiga haste	1) Curto circuito no ar no caso de falha de um ventilador	7	5	1	35	

A.2.9 Componente - Micro Veneziana Fechada

Componente: Micro Veneziana Fechada								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Informar que a veneziana esta fechada	Falha com a veneziana aberta	1) Oxidação do contato	1) Não acionará o fechamento da veneziana 2) Sinalizará falha de veneziana 3) Não desligará o motor da veneziana	9	5	1	45	Teste funcional e ajuste (1 ano)
	Falha com a veneziana fechada	1) Oxidação do contato	1) Não acionará a abertura da veneziana 2) Não partirá o motor do exaustor 3) Sinalizará falha de veneziana	9	5	1	45	

A.2.10 Componente - Micro Sensor Veneziana Aberta

Componente: Micro Sensor Veneziana Aberta								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Informar que a veneziana esta aberta	Falha com a veneziana aberta	1) Oxidação do contato	1) Não acionará o fechamento da veneziana 2) Sinalizará falha de veneziana 3) Não desligará o motor da veneziana 4) Não partirá o exaustor	9	5	1	45	Teste funcional e ajuste (1 ano)
	Falha com a veneziana fechada	1) Oxidação do contato	1) Não acionará a abertura da veneziana 2) Não desligará o motor da veneziana 3) Não partirá o motor do exaustor 4) Sinalizará falha de veneziana	9	5	1	45	

A.2.11 Componente - Sensor de Temperatura do Mancal

Componente: Sensor de Temperatura do Mancal								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Informar a temperatura dos mancais	Enviar sinal de corrente fora da faixa prevista	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Mau contato no cabo 4) Falha do conversor de sinal 5) Falha na entrada analógica do CLP	1) O CLP irá desprezar esta falha e informar falha de sensor de temperatura de mancal	2	10	1	20	
	Temperatura real inferior à registrada	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Falha do conversor de sinal	1) O CLP desligará o motor e informará falha de temperatura	7	10	4	280	
	Temperatura real superior à registrada	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Falha do conversor de sinal	1) Caso o equipamento venha ter problema de temperatura funcionará até o travamento do motor	8	10	4	320	

A.2.12 Componente - Sensor de Temperatura do Estator

Componente: Sensor de Temperatura do Estator								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Informar a temperatura do estator	Enviar sinal de corrente fora da faixa prevista	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Mau contato no cabo 4) Falha do conversor de sinal 5) Falha na entrada analógica do CLP	1) O CLP irá desprezar esta falha e informar falha de sensor de temperatura do estator	2	2	1	4	Testes elétricos (3 anos)
	Temperatura real inferior à registrada	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Falha do conversor de sinal	1) O CLP desligará o motor e informará falha de temperatura	7	2	4	56	
	Temperatura real superior à registrada	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Falha do conversor de sinal	1) Falha oculta, caso o equipamento venha a ter problema de temperatura funcionará até a queima do bobinado	8	2	4	64	

A.2.13 Componente - Sensor de Vibração

Componente: Sensor de Vibração								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Informar a valores de vibração dos mancais do motor	Sensor não registra a vibração encontrada nos mancais corretamente	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Mau contato no cabo 4) Má fixação do sensor	1) Rolamento do motor irá falhar sem apresentar sinais de fadiga 2) Rolamento apresentará falso sinal de fadiga	4	1	2	8	

A.2.14 Componente - Sensor de Temperatura de Ambiente Interno

Componente: Sensor de Temperatura de Ambiente Interno								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Informa a temperatura dos túneis	Um sensor em falha	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Mau contato no cabo	1) Será adotada a maior temperatura para comando da vazão do ventilador	7	5	1	35	
	Dois sensores em falha	1) Sensor descalibrado 2) Sensor degradado pela sujeira 3) Falha do conversor de sinal 4) Falha na entrada analógica do CLP	1) O ventilador trabalhará com vazão fixa a 75% da capacidade	7	5	1	35	

A.2.15 Componente - Lubrificantes dos Mancais do Motor

Componente: Lubrificantes dos Mancais do Motor								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção pela manutenção
Lubrificar os mancais do motor	Não lubrificar o mancal na quantidade correta	1) Obsolescência da graxa antiga, (endurecimento) obstrui a entrada da graxa nova 2) Não lubrificar com o motor em funcionamento 3) Lubrificador excedeu a quantidade	1) Superaquecimento do rolamento e posterior atuação da proteção 2) Travamento do motor	7	1	2	14	Inspeção (3 anos)

A.2.16 Componente - Motor

Componente: Motor								
Função	Modo de Falha	Causa Potencial de Falha	Efeito Potencial de Falha	Severidade	Ocorrência	Deteção	Avaliação Geral (NPR)	Tarefas executadas pela manutenção
Transformar energia elétrica em mecânica para acionamento do cubo do ventilador	Motor não parte	1) Deterioração do rolamento por fadiga 2) Falta de tensão nos terminais do motor 3) Perda do isolamento devido ação da umidade 4) Degradação do retentor do eixo do motor 5) Sobrecarga (tensão alta demais) 6) Temperatura dos mancais alta 7) Temperatura do estator alta 8) Temperatura baixa no interior dos túneis	1) Sinalizará falha na partida do exaustor 2) Sinalizará falha de alimentação elétrica (ver FMEA de alimentação elétrica) 3) A graxa do mancal migrará para o interior do rotor provocando a queima do bobinado	8	5	4	160	Medir corrente (1 ano) limpeza (6 meses) lubrificação (2 anos) verificação de tensão e seu equilíbrio (1ano) análise de vibração (2 meses)
	Motor para	1) Refrigeração insuficiente devido a sujeira 2) Sobrecarga 3) Rotor roçando no estator 4) Carga elétrica desequilibrada 5) Contaminação da graxa 6) Pouca graxa 7) Excesso de graxa 8) Folga do rolamento incorreta	1) Curto circuito no ar no caso de falha de um ventilador	8	5	4	160	

A.3 CONCEITUAÇÃO SOBRE O BANCO DE DADOS DA GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO DO METRÔ-SP

No Metrô, na gerência de manutenção (GMT), as ocorrências de falhas nos diversos equipamentos do material rodante ou *equipamentos fixos*¹ nas estações, após a atuação das equipes de manutenção em campo, são finalizadas no banco de dados *Sigma* (sistema de informações gerenciais da manutenção) classificando-se segundo critério elaborado em consenso pela engenharia da manutenção utilizando-se letras da seguinte forma: A, C, E, F, G, H, J, L, P e W. A tabela A.3.1 detalha esta conceituação.

Tabela A.3.1 – Conceitos para Entendimento do Sistema Informatizado do Banco de Dados das Informações da Gerência de Manutenção

Conceito	O que é
SISTEMA OPERACIONAL	Conjunto de equipamentos, componentes e instalações concebido para exercer uma função específica que, integrada com as demais, permite constituir o sistema metroviário destinado diretamente ao transporte de passageiros. Exemplos: O Material Rodante, a Alimentação Elétrica, a Via Permanente etc.
SUBSISTEMA	Divisão ou decomposição dos sistemas em conjunto de partes que agrupam equipamentos de mesma natureza ou função.
SINTOMA	Qualquer sinalização, comportamento, alarme, mudanças de padrão, perda ou degradação de função, que indique uma anomalia no Sistema Operacional.
OCORRÊNCIA	Desvio operacional, onde há a constatação e comunicação de uma degradação operacional, sentida pelo operador e/ou usuário e/ou mantenedor através de algum sintoma.
INTERVENÇÃO	Ação proveniente de um reparo, teste, técnica de pesquisa de falha, ensaio, inspeção realizado pelo corpo técnico de manutenção no Sistema Operacional.
CÓDIGO DE FINALIDADE	Representação alfanumérica dos equipamentos que constituem um subsistema.
CÓDIGO DE DDDEFEITO	Representação alfanumérica que indica anomalia no estado físico, degradação funcional ou configuração incorreta do equipamento que gerou o sintoma, consequentemente a ocorrência.
CÓDIGO DE REPARO	Representação alfanumérica que indica a ação correlacionada ao defeito encontrado, que restabelece a função, o estado padrão ou a configuração do sistema ou equipamento.
NÍVEL DE ABERTURA	Representação alfabética da classificação da ocorrência quanto a sua gravidade e interferência no Sistema Metroviário.

¹ *Equipamentos Fixos* tem esta denominação para diferenciação em relação aos equipamentos do trem - *Material Rodante*.

A.3.1 CÓDIGO DE DIAGNÓSTICO PARA FECHAMENTO DAS OCORRÊNCIAS

A tabela A.3.2 mostra a representação alfabética da classificação da ocorrência quanto ao causador do sintoma.

Tabela A.3.2 – Conceitos para Entendimento do Sistema Informatizado do Banco de Dados das Informações da Gerência de Manutenção

Identificação	O que é
Falha (A)	Desvio funcional originado exclusivamente do projeto global do sistema, equipamento ou instalação, podendo ser operacional ou de suporte, proveniente de uma ocorrência.
Consequência de outra ocorrência (C)	Ocorrência com sintoma provocado por outra ocorrência, que teve seu sintoma constatado, em outra parte do mesmo sistema operacional.
Atraso na entrega do equipamento pela Manutenção (D)	Ocorrência com sintoma provocado pela não liberação de um equipamento ao término do período de acesso.
Sintoma não identificado (E)	Ocorrência cujo sintoma não foi identificado e não foi passível de reprodução pelos testes de manutenção.
Operação Indevida (F)	Ocorrência com sintoma provocado por uso inadequado do sistema operacional ou em desacordo com a função prevista no projeto.
Vandalismo (G)	Ocorrência com sintoma provocado por equipamento com defeito causado por uma ação de vândalo.
Causa não identificada (H)	Ocorrência com sintoma identificado, provocado por defeito sem causa detectada, no mesmo sistema/equipamento ou o sintoma é previsto no projeto do subsistema/equipamento.
Fortuidade Natural (I)	Ocorrência com sintoma provocado por fenômenos da natureza.
Abertura Inadequada (J)	Ocorrência aberta com nível de abertura (A, B ou C) não correspondente ao acordado com a Operação ou o sintoma retrata um defeito (DM) já detectado e em acompanhamento pela Manutenção.
Manutenção Indevida (L)	Ocorrência com sintoma provocado por ação inadequada de manutenção.
Parâmetro Inadequado (P)	Ocorrência com sintoma e causa identificados, sendo que a causa não está prevista em documentação. A causa teve origem em parâmetro/informação inadequado contido em documentação.
Agente Externo (W)	Ocorrência com sintoma provocado por equipamentos defeituosos de outro sistema operacional ou o sintoma é decorrente de ação de terceiros em que não se constatou intenção de vandalismo.