

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

**Departamento de Engenharia de Energia e
Automação Elétricas**

ISSN 1413-2214

BT/PEA/9801

**Análise de Confiabilidade para
Gerenciamento Operacional
de Sistemas Automatizados de
Pesagem Rodo-Ferroviária**

**Rubens Lopes Rolim
Cícero Couto de Moraes**

São Paulo - 1998

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Rubens Lopes Rolim, sob orientação do Prof. Dr. Cicero Couto de Moraes: "Análise de Confiabilidade para Gerenciamento Operacional de Sistemas Automatizados de Pesagem Rodo-Ferroviária", defendida em 03/02/98, na EPUSP.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP.

Rolim, Rubens Lopes

Análise de confiabilidade para gerenciamento operacional de sistemas automatizados de pesagem rodo-ferroviária / R.L. Rolim, C.C. de Moraes. -- São Paulo : EPUSP, 1998.

25 p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, BT/PEA/9801)

1. Confiabilidade (Engenharia) 2. Computadores - Aplicações a sistemas de pesagem I. Moraes, Cicero Couto de II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas III. Título IV. Série
ISSN 1413-2214

CDD 620.00452
004

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE PARA GERENCIAMENTO OPERACIONAL DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE PESAGEM RODO-FERROVIÁRIA

Eng. Rubens Lopes Rolim
Prof. Dr. Cícero Couto de Moraes

1 RESUMO

Este trabalho propõe e apresenta uma ferramenta prática denominada *Análise de Confiabilidade Operacional do Sistema Automatizado de Pesagem Rodo-Ferrovária* da Companhia Docas do Estado de São Paulo, podendo ser aplicada em manutenção de componentes, equipamentos e sistemas industriais, baseada na **Confiabilidade e Manutenibilidade** dos mesmos.

Com o levantamento realizado em campo foram montados os bancos de dados de acompanhamento de vida dos componentes e feito o estudo de confiabilidade através da Distribuição de Weibull e obtido o MTF (tempo médio de bom funcionamento) de cada componente. Com os dados relativos a desempenho, vida útil, taxas de falha etc. foi efetuada a análise do Sistema Automatizado levando-se em consideração as suas configurações operativas quanto a capacidade e sentido de tráfego como um todo, bem como a análise de confiabilidade e manutenibilidade individual de cada Posto Automatizado da área portuária da CODESP.

Esta análise dos componentes do Posto e do Sistema Integrado de Postos de Pesagem obteve-se a confiabilidade operacional dos sistemas formados por dois e mais postos, e discenir a configuração de melhor performance.

2 CARACTERÍSTICAS DOS POSTOS DE PESAGEM AUTOMATIZADOS

Os Postos de Pesagem Automatizados e Informatizados foram desenvolvidos para otimização do processo de pesagem, garantindo a confiabilidade do sistema através de controles operacionais vinculados as informações pertinentes a pesagem, que ficam registradas em bancos de dados de sistema, sendo estas:

- código dos operadores autorizados;
- registros de dados dos navios e armazéns;
- registros de dados das transportadoras;
- registros de dados dos veículos;
- emissão de relatórios diários, mensais;
- emissão de bilhetes de pesagem;
- processamento das curvas de pesagem dos veículos;
- processamento de entrada e saída por navio e armazém;

O processo de pesagem automatizada da área portuária está distribuído conforme mostra o esquema da figura 1, onde os postos de pesagem automatizados estão interligados através de rede de dados a um sistema central de servidor de rede.



A figura 1 - Sistema de Pesagem Automatizada e Informatizada.

A figura 2 mostra um posto de pesagem automatizado e informatizado

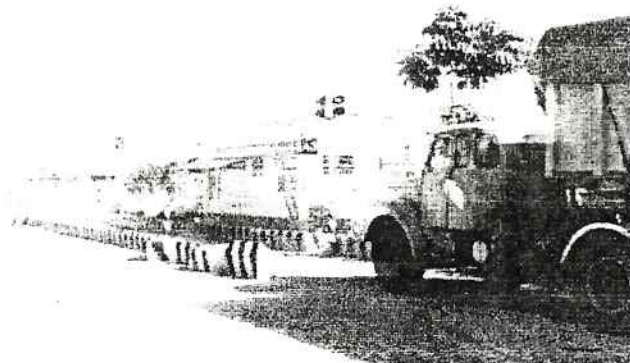


figura 2 - Posto de Pesagem Automatizado e Informatizado.

3 DESCRIÇÃO E CODIFICAÇÃO DOS COMPONENTES QUE COMPÕEM UM POSTO DE PESAGEM AUTOMATIZADO

Para os levantamentos e controle dos dados obtidos, foi necessário relacionar todos os componentes que pertencem a parte automatizada e informatizada do posto de pesagem e que apresentaram falhas durante o período de acompanhamento operacional. Estes componentes estão relacionados na tabela 1.

- TABELA 1 -
RELAÇÃO DOS COMPONENTES DOS POSTOS DE PESAGEM
AUTOMATIZADOS E INFORMATIZADOS

COMPONENTES	
1	Controlador Lógico
2	Micro Industrial
3	Monitor de Vídeo
4	Teclado
5	Impressora
6	Detectores de Ruptura
7	No-Break
8	Baterias
9	Semáforos
10	Sensores Óticos

3.1 CODIFICAÇÃO DOS COMPONENTES

A tabela 2 mostra os índices de criticidade operacional que caracterizam o grau de paralisação de um determinado componente dentro do sistema, bem como as suas consequências.

- TABELA 2 -
ÍNDICES DE CRITICIDADE

Criticidade	Código	Consequências	Providências Emergenciais
Muito crítica	1	Paralisação completa do equipamento	Medidas corretivas (reparos/ substituição) com paralisação longa.
Pouco crítica	2	Paralisação parcial	Medidas corretivas (curativas/ paliativas) com paralisação rápida
Não crítica	3	Sem paralisação	Medidas corretivas (curativas / paliativas) sem paralisação

A codificação dos componentes dos postos de pesagem seguiram uma sequência, conforme mostra a tabela 3.

TABELA 3 -
SEQÜÊNCIA DE CODIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DO
POSTO DE PESAGEM

Nº. do Posto	Nº. no Grupo	Nº. Seqüência	Índice de Criticidade
XX	AB	C	D

onde:

XX : indica o número do (s) posto (s) a que pertence o componente:

A : indica o grupo do componente:

B : indica o subgrupo:

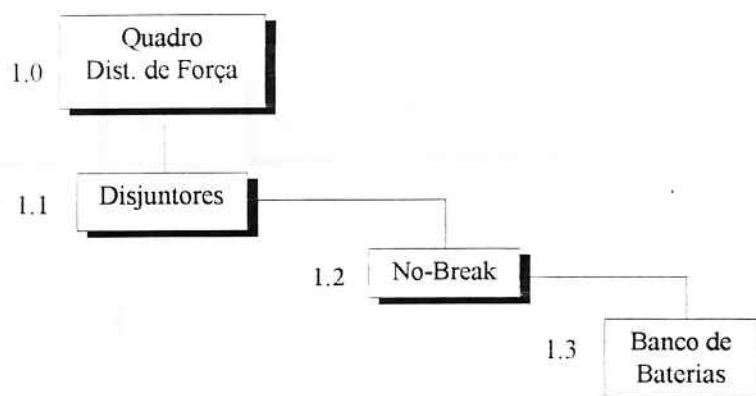
C : indica o número de seqüência, ou seja, dentro de um mesmo

subgrupo pode haver mais de um componente:

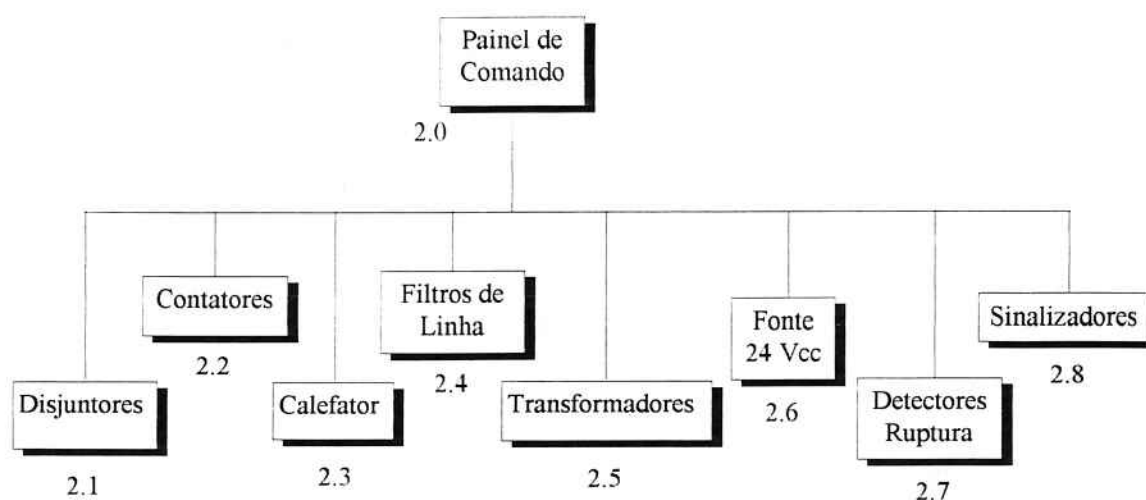
D : indica o índice de criticidade.

Os componentes foram distribuídos em grupos para melhor identificação e localização dentro do sistema. Os que não apresentarem falhas operacionais durante o período de estudo, como disjuntores, contadores, filtros de linha, fontes 24 Vdc e sinalizadores de painel, com índices de criticidade inferiores ao código 3 (tabela 2), apesar de codificados, não foram objetos de estudo deste trabalho.

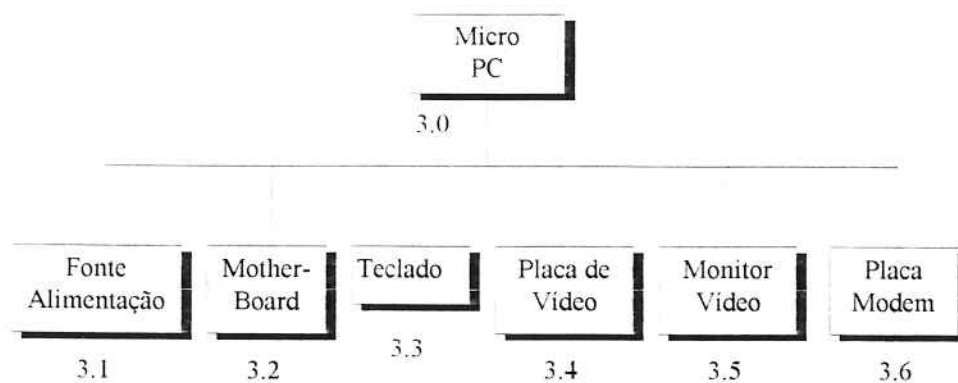
A distribuição dos componentes são mostradas nas figuras 3, 4, 5, 6 e 7, que indicam os grupos e os respectivos componentes.



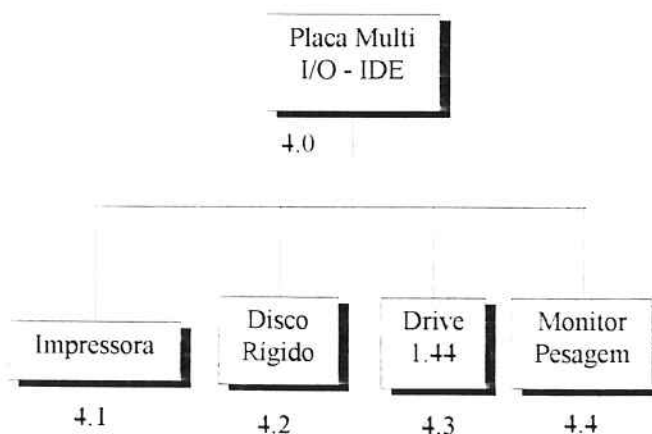
- Figura 3 - Distribuição dos componentes do grupo 1.



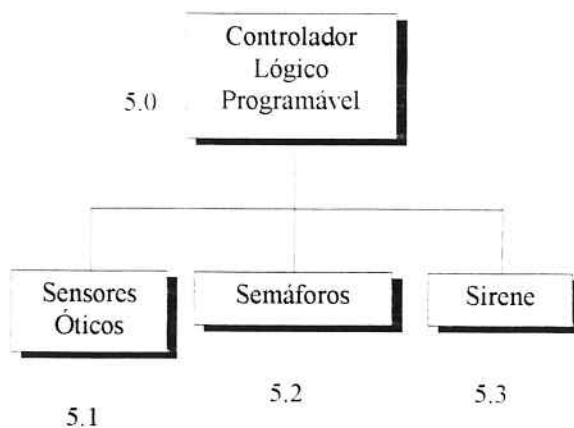
- Figura 4 - Distribuição dos componentes do grupo 2.



- Figura 5 - Distribuição dos componentes do grupo 3.



- Figura 6 - Distribuição dos componentes do grupo 4.



- Figura 7 - Distribuição dos componentes do grupo 4.

A seguir estão relacionados os componentes do grupo I com os seus respectivos códigos, sendo que para a codificação dos componentes dos demais grupos, seguiram a mesma sequência:

Codificação do Grupo I

- No-Break	XX/XX.12.1.1
- Banco de Baterias:	
Bateria número 1	XX/XX.13.1.1
Bateria número 2	XX/XX.13.2.1
Bateria número 3	XX/XX.13.3.1
Bateria número 4	XX/XX.13.4.1

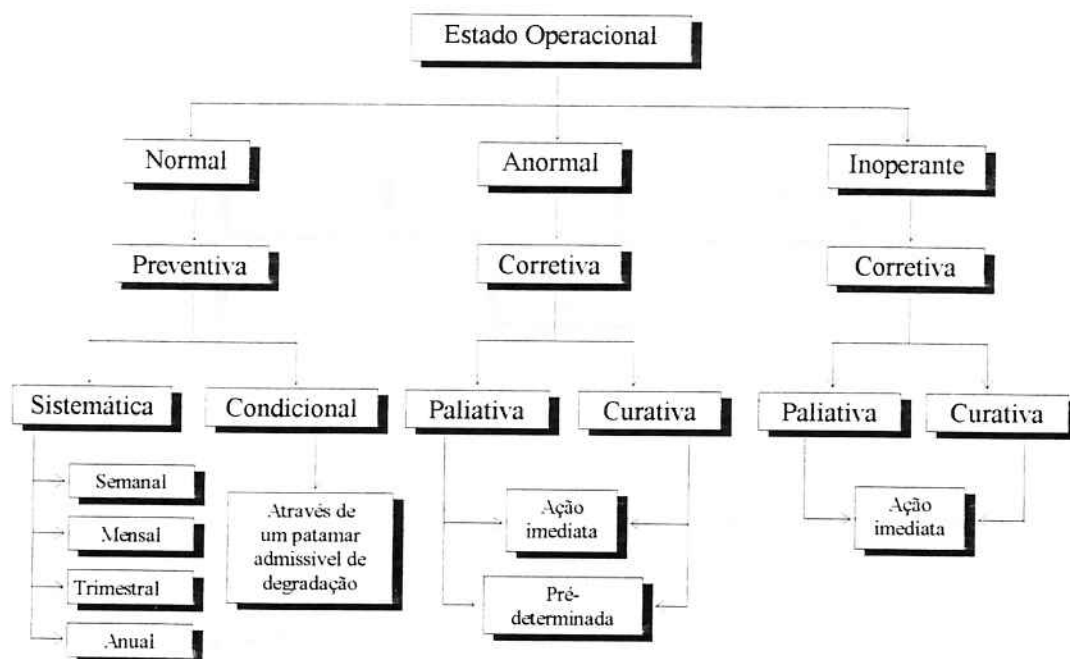
3.2 ESTADOS OPERACIONAIS

De acordo com a criticidade de cada componente, podemos definir as formas e a política de manutenção a ser adotada. Numa análise de operacionalidade, um equipamento pode se encontrar em um dos três estados, conforme mostra a figura 8.



- Figura 8 - Evolução dos Estados Operacionais.

Através de um organograma operacional, podemos definir em cada estado operacional, a forma de manutenção a ser adotada para cada equipamento, bem como a periodicidade de cada intervenção, conforme mostra a figura 9.



- Figura 9 - Estados Operacionais e as formas de Manutenção.

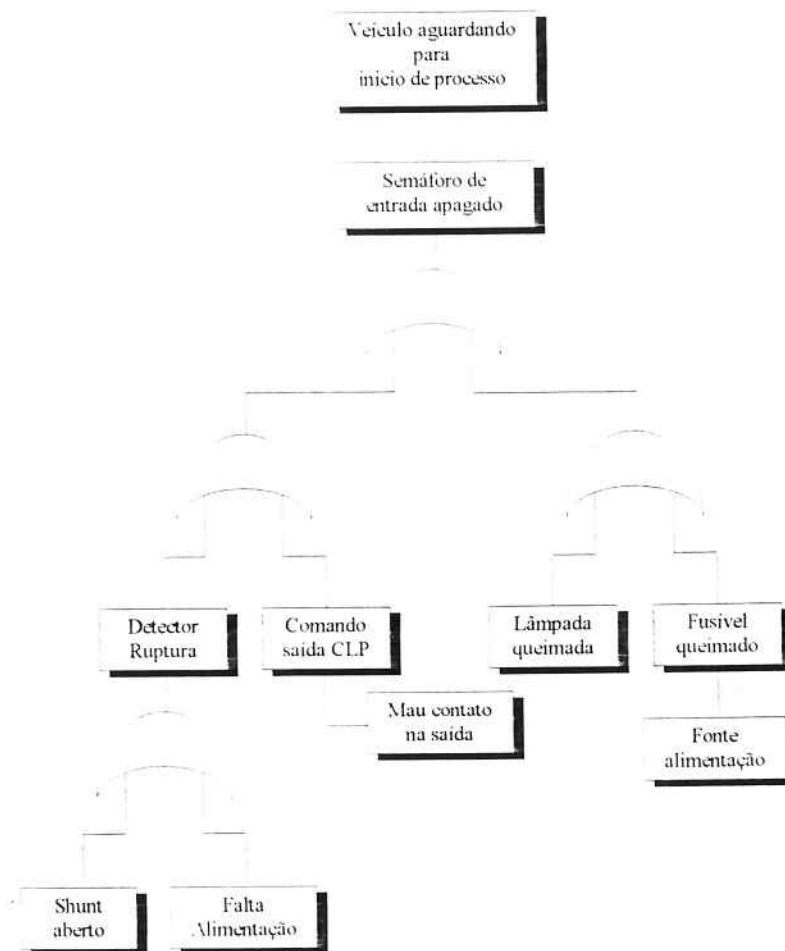
Estado Normal - as intervenções de manutenção ocorrem segundo um programa de manutenção: preventiva sistemática ou condicional

Estado Anormal - o equipamento opera com defeito, ou seja, perde parte de suas funções requeridas, funcionando de forma degradada podendo chegar à paralisação completa. Voltando à normalidade através de ações corretivas paliativas ou curativas.

Estado Inoperante - ocorre a paralisação completa do equipamento ocasionado por falha, ou seja, perda total das funções requeridas, voltando a operar através de ações corretivas paliativas ou curativas.

Durante o período de acompanhamento operacional dos postos de pesagem, foram detectadas várias situações de anomalias, caracterizadas por defeitos ou falhas, para as quais, a ação da manutenção corretiva seguiu uma sequência lógica para o encontro do problema de acordo com o tipo de evento ocorrido.

A figura 10 mostra um caso típico detectado em campo, o qual está caracterizado em uma árvore.



- Figura 10 - Cancelamento do processo de pesagem.

4 DETERMINAÇÃO DO MTTF PELA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL

4.1 LEVANTAMENTO HISTÓRICO DOS TEMPOS DE BOM FUNCIONAMENTO

Os levantamentos dos tempos de bom funcionamento (TTF) dos componentes foram feitos à medida em que as falhas foram surgindo.

Para a solicitação feita ao setor de manutenção com vistas ao atendimento corretivo no posto de pesagem, foram anotados os tipos de falhas bem como os componentes que as apresentaram dentro do sistema, data e hora da ocorrência; ao término dos serviços corretivos também foram anotadas a data e a hora de retorno para operação do posto.

A Tabela 4 mostra os tempos de acompanhamento operacional do micro computador. O acompanhamento dos demais componentes relacionados na tabela 1 seguiram o mesmo procedimento.

- TABELA 4 -
ACOMPANHAMENTO DOS TEMPOS DE BOM
FUNCIONAMENTO DOS MICROS COMPUTADORES

ACOMPANHAMENTO DE BOM FUNCIONAMENTO					
Componente: Micro Computador Industrial - PC					
Nº. ordem	código	TTF	TTR	TBF	F(i)
1	42.34.1.1	48	72,0	120,0	3,85
2	15.36.1.1	4800	72,0	4872,0	7,69
3	44.34.1.1	5600	36,0	5636,0	11,54
4	11.36.1.1	5800	6,8	5806,8	15,38
5	25.36.1.1	6200	48,0	6248,0	19,23
6	25.32.1.1	6700	5,0	6705,0	23,08
7	25.34.1.1	7800	24,0	7824,0	26,92
8	25.34.1.1	7900	4,5	7904,5	30,77
9	10.34.1.1	8500	5,0	8505,0	34,62
10	11.32.1.1	8500	4,0	8504,0	38,46
11	11.34.1.1	9000	3,5	9003,5	42,31
12	25.34.1.1	9000	4,5	9004,5	46,15
13	11.32.1.1	9100	48,0	9148,0	50,00
14	14.36.1.1	9100	5,4	9105,4	53,85
15	14.32.1.1	9150	6,0	9156,0	57,69
16	43.34.1.1	9200	24,0	9224,0	61,54
17	44.32.1.1	9200	8,0	9208,0	65,38
18	44.34.1.1	9300	24,0	9324,0	69,23
19	25.34.1.1	9350	5,0	9355,0	73,08
20	44.31.1.1	9700	48,0	9748,0	76,92
21	14.32.1.1	10000	5,6	10005,6	80,77
22	10.34.1.1	11000	6,0	11006,0	84,62
23	43.32.1.1	11400	24,0	11424,0	88,46
24	11.31.1.1	12000	3,8	12003,8	92,31
25	15.31.1.1	13500	7,5	13507,5	96,15

4.2 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE WEIBULL

O estudo pela Distribuição de Weibull é caracterizado pela determinação de três parâmetros que possibilitam uma análise da confiabilidade operacional.

Os três parâmetros de Weibull são:

η => parâmetro de escala ou de referência

β => parâmetro de forma

γ => parâmetro de posição

Seguindo um algoritmo para estudo da Lei de Weibull utilizando os dados da tabela 4, foram determinados os três parâmetros referentes ao micro computador, os quais foram substituídos nas equações relacionadas para análise da confiabilidade, como segue:

- Função Confiabilidade

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

- Função Probabilidade de Falha

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (4-2)$$

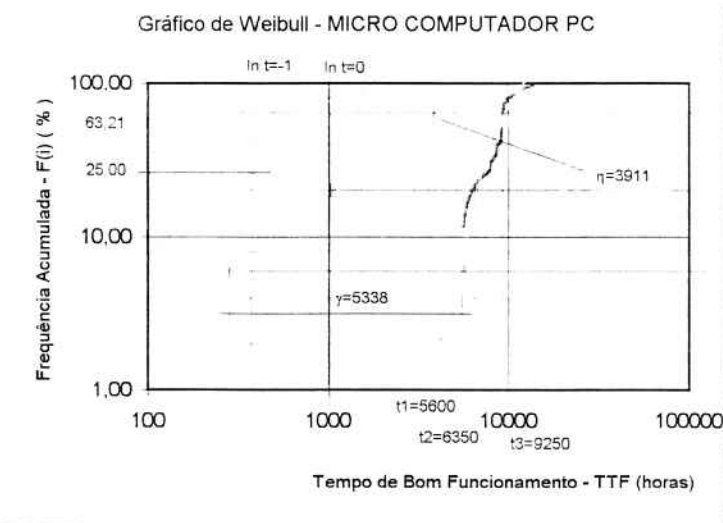
- Função Taxa Instantânea de Falha

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (4-3)$$

- Função Densidade de Probabilidade de Falha

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (4-4)$$

A figura 11 mostra o gráfico para determinação dos parâmetros β , η e γ , montado através dos dados da tabela 1, sendo que a curva é resultante do traçado dos pontos de TTFi com $F(i)$. Se a resultante dos pontos for uma reta então $\gamma=0$, se for uma curva com concavidade para baixo $\gamma>0$ e se for com concavidade para cima $\gamma<0$, necessitando nestes dois casos, fazer a linearização dos pontos.



- Figura 11 - Gráfico de Weibull do Micro Computador.

Parâmetros de Weibull do Micro Computador:

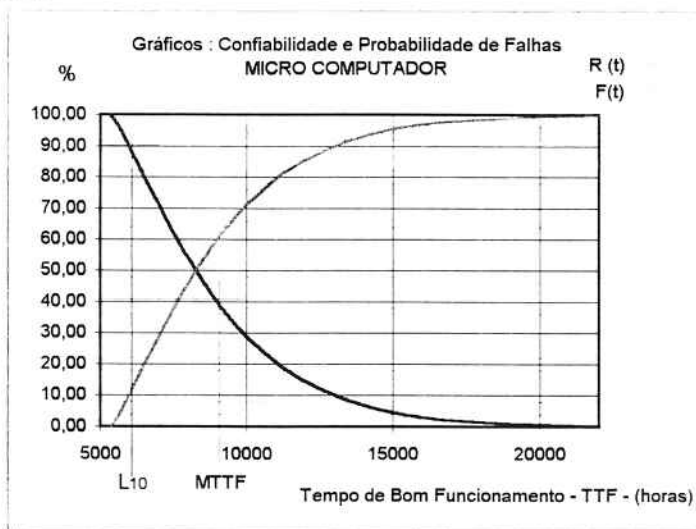
$\beta = 1.2459$, $\eta = 3911$ horas e $\gamma = 5338$.

A figura 12 mostra os gráficos de $R(t)$ (Confiabilidade) e $F(t)$ (Probabilidade de Falha). O traço indicando L_{10} que intercepta o traço em 90 %, indica o período de vida nominal com 10 % de probabilidade de falha, que pode ser obtido diretamente pelo gráfico da figura 12 ou analiticamente pela equação (4-5).

$$t = \gamma + \eta \cdot \left(\ln \frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4-5)$$

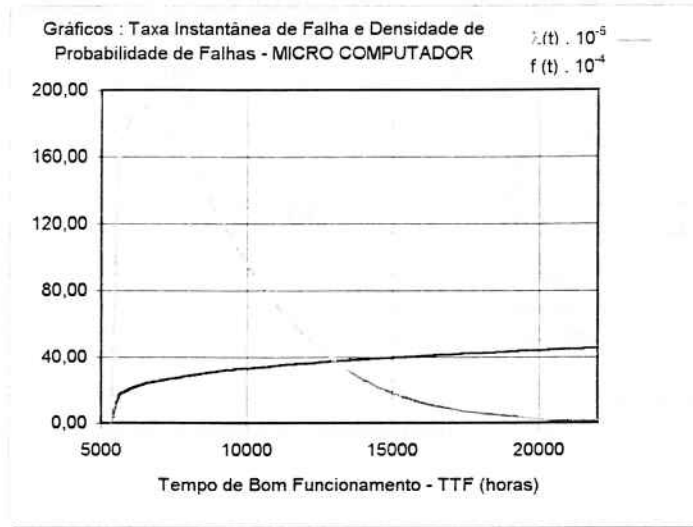
$$R(t) = 0.90 \Rightarrow L_{10} = \gamma + \eta \cdot (0,1054)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4-6)$$

$R(t) = 5890$ horas.



- Figura 12 - Curvas de Confiabilidade e Probabilidade de Falha do Micro Computador.

A figura 13 mostra os gráficos de $f(t)$ (Densidade de Probabilidade de Falha) e $\lambda(t)$ (Taxa Instantânea de Falha).



- Figura 13 - Curvas de Densidade de Probabilidade de Falha e Taxa Instantânea de Falha do Micro Computador.

4.3 EXPLORAÇÃO DOS DADOS PARA DETERMINAÇÃO DOS MTTF DOS COMPONENTES DO POSTO DE PESAGEM

O valor esperado da distribuição de Weibull é a média da função $f(t)$, sendo esta uma função contínua no tempo. A sua expressão é indicada na equação (4-7).

$$E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \text{MTTF} \quad (4-7)$$

Substituindo a equação (4-4) na equação (4-7), temos:

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} t \cdot \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \cdot dt \quad (4-8)$$

A equação (4-8) é denominada de função Gama, a qual será representada da seguinte forma:

$$\text{MTTF} = \eta \cdot \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) + \gamma \quad (4-9)$$

Fazendo:

$$A = \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \quad (4-10)$$

Temos:

$$\text{MTTF} = A \cdot \eta + \gamma \quad (4-11)$$

Para o micro computador, temos:

$$\text{MTTF} = 0,9321 \times 3911 + 5338$$

$$\text{MTTF} = 8983,44 \text{ horas.}$$

A tabela 5 mostra os valores dos três parâmetros de Weibull, obtidos para os componentes que foram realizados os acompanhamentos dos tempos de bom funcionamento.

- TABELA 5 -
PARÂMETROS DE WEIBULL DOS COMPONENTES DO POSTO DE PESAGEM

COMPONENTES		PARÂMETROS DE WEIBULL		
		β	η	γ
1	Controlador Lógico	1,747	8000	0
2	Micro Industrial	1,246	3911	5338
3	Monitor de Vídeo	1,5	6154	1846
4	Teclado	2,102	4809	6691
5	Impressora	1,971	3906	6094
6	Detecores de Ruptura	1,393	9703	-1353
7	No-Break	0,991	13500	0
8	Baterias	1,445	3600	13400
9	Semáforos	1,2	6006	4994
10	Sensores Óticos	1,419	10952	-952

A tabela 6 mostra os valores de A e os MTTF para cada componente. Estes valores, foram obtidos através das equações (4-10) e (4-11) respectivamente, resultantes da aplicação da função Gama sobre a equação (4-8).

- TABELA 6 -
VALORES NUMÉRICOS PARA DETERMINAÇÃO DO MTTF

TABELA NUMERICA PARA DETERMINAR MTTF			
COMPONENTES		A	MTTF
1	Controlador Lógico	0,8907	7125,60
2	Micro Industrial	0,9321	8983,44
3	Monitor de Vídeo	0,9027	7401,22
4	Teclado	0,8857	10950,33
5	Impressora	0,8865	9556,67
6	Detecores de Ruptura	0,9121	7497,11
7	No-Break	1,0039	13552,65
8	Baterias	0,9072	16665,92
9	Semáforos	0,9407	10643,84
10	Sensores Óticos	0,9095	9008,84

4.3.1 OBTENÇÃO DO MTTF PELA CONFIABILIDADE DOS COMPONENTES

Através da relação matemática entre a taxa de falha e a confiabilidade, verifica-se que o MTTF é determinado pelo cálculo integral de R(t), conforme mostra a equação (4-12).

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (4-12)$$

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} dt \quad (4-13)$$

Sendo o parâmetro γ denominado parâmetro de posição, e determinado a partir do gráfico de Weibull, se a resultante do traçado dos pontos de TTFi com F(i) for uma reta, γ será igual a zero; logo, tem-se uma distribuição de Weibull com dois parâmetros, com β e η , ficando a equação para determinação do MTTF da seguinte forma:

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} dt \quad (4-14)$$

Para os traçados dos pontos TTFi com F(i), cuja resultante é uma curva, é através da linearização, que se obtém o valor do parâmetro γ ; daí, o MTTF será obtido pela equação (4-15)

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} dt + \gamma \quad (4-15)$$

Pela definição da função Gama, o MTTF foi obtido pela equação (4-11); logo, conclui-se que:

$$MTTF = A \cdot \eta + \gamma = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} dt + \gamma$$

Portanto:

$$\int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} dt = A \cdot \eta = \eta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

A tabela 7 mostra os valores de MTTF dos componentes, obtidos com a aplicação da equação (4-15). Comparando-os com os resultados da tabela 6, observa-se que os valores são exatamente iguais. Estes valores foram obtidos através de um software para resolução de cálculos (Mathcad 5.0).

- TABELA 7 -
VALORES DE MTTF DOS COMPONENTES DO POSTO DE PESAGEM,
OBTIDOS PELA DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL DE DOIS PARÂMETROS

TEMPO MEDIO DE BOM FUNCIONAMENTO (MTTF)						
Componentes	β	η	γ	$\int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} dt$	MTTF	
1 Controlador Lógico	1,747	8000	0	7125,6	7125,60	
2 Micro Industrial	1,246	3911	5338	3645,44	8983,44	
3 Monitor de Vídeo	1,5	6154	1846	5555,22	7401,22	
4 Teclado	2,102	4809	6691	4259,33	10950,33	
5 Impressora	1,971	3906	6094	3462,67	9556,67	
6 Detectores de Ruptura	1,393	9703	-1353	8850,11	7497,11	
7 No-Break	0,991	13500	0	13552,65	13552,65	
8 Baterias	1,445	3600	13400	3265,92	16665,92	
9 Semáforos	1,2	6006	4994	5649,84	10643,84	
10 Sensores Óticos	1,419	10952	-952	9960,84	9008,84	

A tabela 8 mostra os valores dos MTTF, a confiabilidade e a taxa de falha instantânea, associadas para $t=MTTF$ de cada componente e o período de vida nominal L_{10} .

- TABELA 8 -
TAXA DE FALHA INSTANTÂNEA E PERÍODO DE VIDA NOMINAL

TAXA DE FALHA INSTANTÂNEA E PERÍODO DE VIDA NOMINAL						
COMPONENTE	MTTF (h)	R(MTTF) (%)	$\lambda(t) \times 10^{-4}$	Tempo de vida L_{10}	Tempo de vida L_{20}	
1 Controlador Lógico	7125,60	44,18	2,00	2206	3390	
2 Micro Industrial	8983,44	40,01	3,13	5980	6511	
3 Monitor de Vídeo	7401,22	42,41	2,32	3219	4110	
4 Teclado	10950,33	46,08	3,82	8340	9047	
5 Impressora	9556,67	45,45	4,49	7341	7919	
6 Detectores de Ruptura	7497,11	41,49	1,38	575	1951	
7 No-Break	13552,65	36,65	0,73	1395	2973	
8 Baterias	16665,92	41,95	3,84	14159	14675	
9 Semáforos	10643,84	39,48	1,97	5915	6715	
10 Sensores Óticos	9008,84	41,72	1,24	1289	2852	

Para a análise dos valores obtidos na tabela 8, foi feito um levantamento do total de componentes instalados, referentes aos postos de pesagem automatizados que se encontram em operação. A tabela 9 mostra a relação desses componentes.

- TABELA 9 -
 RELAÇÃO DO TOTAL DE COMPONENTES INSTALADOS
 NOS POSTOS DE PESAGEM EM OPERAÇÃO

TOTAL DE COMPONENTES INSTALADOS Referentes aos Postos de Pesagem em operação		
Componente		Qtde.
1	Controlador Lógico	14
2	Micro Industrial	14
3	Monitor de Vídeo	14
4	Teclado	14
5	Impressora	14
6	Detectores de Ruptura	110
7	No-Break	9
8	Baterias	36
9	Semáforos	68
10	Sensores Óticos	96

De acordo com os valores indicados na tabela 8, para MTTF= 8981 horas de operação do micro computador, tem-se uma confiabilidade de 40,04%, ou seja, cinco dos quatorze componentes atingirão o tempo médio de bom funcionamento. Ao atingir o período de vida L_{10} , um componente estará falhando e um componente terá 40% de probabilidade de falha.

Esta mesma analogia aplica-se aos demais componentes relacionados na tabela 8.

4.4 DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE E MTTF DE UM POSTO DE PESAGEM

4.4.1 DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE PARCIAL DOS COMPONENTES DO POSTO DE PESAGEM

Para determinar a confiabilidade de um posto de pesagem foi feita uma análise dos períodos de vida L_{10} (tabela 8), tomando como base o período de vida nominal de 2206 horas de operação do controlador lógico. A tabela 10 mostra os valores de confiabilidade de cada componente associado ao período $t=2206$.

- TABELA 10 -
 CONFIABILIDADE OPERACIONAL DOS COMPONENTES DO
 POSTO DE PESAGEM

CONFIABILIDADE OPERACIONAL período de 2260 horas		
Componente		R(t) %
1	Controlador Lógico	90,00
2	Micro Industrial	100,00
3	Monitor de Vídeo	98,59
4	Teclado	100,00
5	Impressora	100,00
6	Detectores de Ruptura	78,08
7	No-Break	84,71
8	Baterias	100,00
9	Semáforos	100,00
10	Sensores Óticos	84,25

4.4.2 DETERMINAÇÃO DA CONFIABILIDADE GLOBAL DE UM POSTO DE PESAGEM

Através das associações dos componentes em diagrama de blocos, caracterizando como um posto de pesagem, foi obtida confiabilidade global do posto, conforme mostram as figuras 15 (a) e 15 (b):

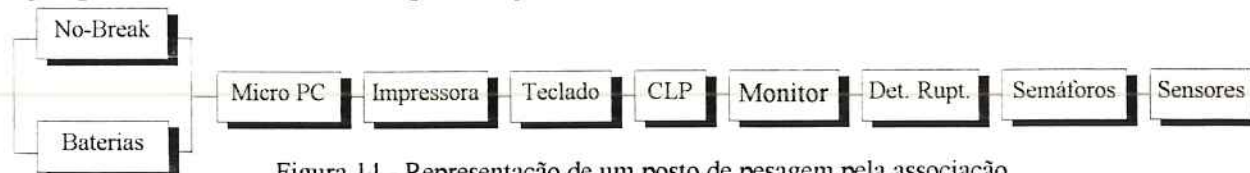


Figura 14 - Representação de um posto de pesagem pela associação dos componentes em diagrama de blocos.

Com os valores indicados na tabela 3.10. pela a associação série do sistema. temos:

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (4-16)$$

Para a associação em paralelo:

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (4-17)$$

Aplicando as equações (4-16) e (4-17) de acordo com a montagem da figura 15 (b). temos:

$$R_G(t) = \left[1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i(t)) \right] \cdot \prod_{i=3}^{10} R_i(t) \quad (4-18)$$

$$R_G = 0,5837.$$

Portanto, a confiabilidade global do posto de pesagem fica reduzida em $R_G(t)=0,5837$. Isto significa que a confiabilidade global de um posto de pesagem é de 58,37% para um periodo de operação de 2206 horas.

4.4.3 DETERMINAÇÃO DO MTTF GLOBAL DE UM POSTO DE PESAGEM

Para determinar o MTTF global do posto de pesagem foi aplicado o cálculo da taxa de falha equivalente para associações de componentes em série (equação (4-19)) e paralelo (equação (4-20)).

$$\lambda_e = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (4-19)$$

$$\frac{1}{\lambda_e} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad (4-20)$$

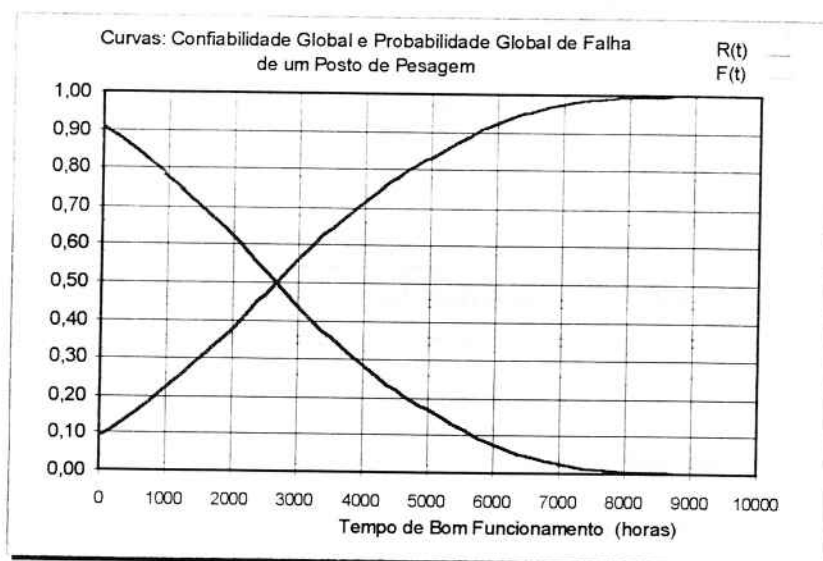
A função equivalente da probabilidade de falha do sistema da figura 15 (b) é dada por:

$$F_G(t) = 1 - \left[\left[1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i(t)) \right] \cdot \prod_{i=3}^{10} R_i(t) \right] \quad (4-21)$$

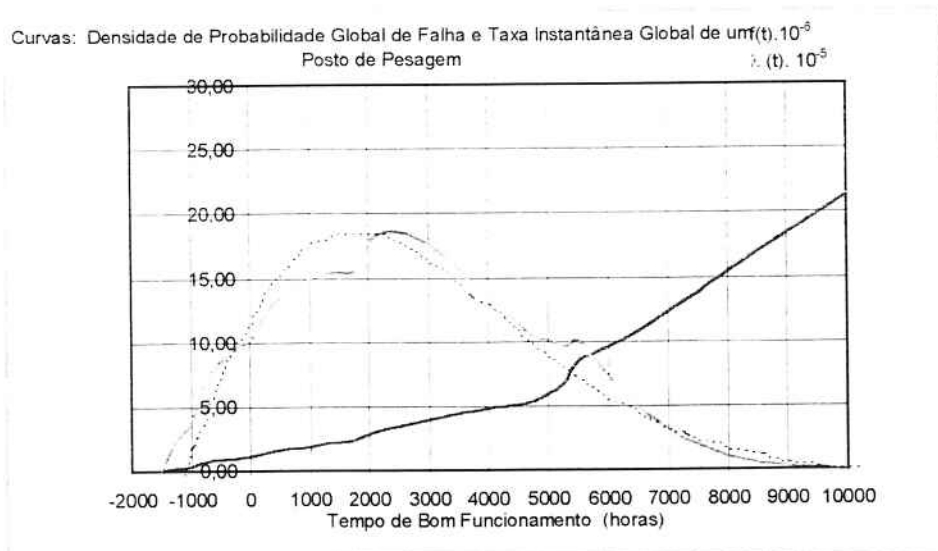
Com as equações de taxa de falha equivalente e confiabilidade global, obtém-se a densidade de probabilidade de falha.

$$f_G(t) = \lambda_e(t) \cdot R_G(t) \quad (4-22)$$

Com os resultados obtidos para t variando entre 0 e 10000 horas, substituídos nas equações (4-18), (4-21) e (4-22), foram registrados os gráficos de confiabilidade e probabilidade de falha mostrados na figura 15, e os gráficos taxa instantânea de falha e densidade de probabilidade de falha, mostrados na figura 16.



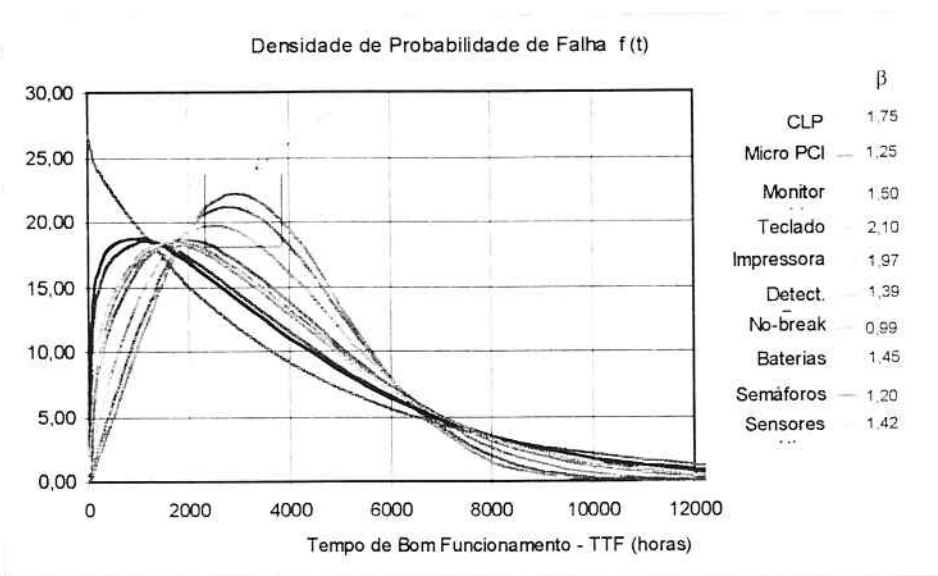
- Figura 15 - Curvas: Confiabilidade e Probabilidade de Falha Global de um Posto de Pesagem.



- Figura 16 - Curvas: Taxa de Falha Instantânea e Densidade de Probabilidade de Falha.

A linha tracejada sobre o gráfico de densidade de probabilidade, indica forma característica da curva de $f(t)$, de onde podemos obter uma estimativa do valor do parâmetro β .

A figura 17 mostra as diferentes formas das curvas de densidade de probabilidade de falha obtidas para cada componente.



- Figura 17 - Curva de Densidade de Probabilidade de Falha dos componentes do posto de pesagem.

Observando as curvas demarcadas na figura 17, verifica-se que o valor de β está entre 1,747 e 2,102, cujo resultado médio obtido foi de $\beta = 1,925$.

Para obter os valores dos parâmetros η e γ , retomaremos a equação (4-5), reescrita aqui como equação (4-23).

$$t = \gamma + \eta \cdot \left(\ln \frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (4-23)$$

Para $t=0$ na equação (4-1), tem-se $R(t) = 0.9088$ e para $t=6000$, $R(t) = 0.075$. Com o valor de $\beta=1.925$ e os respectivos valores de t e $R(t)$, foi montado o seguinte sistema de equações:

$$\begin{cases} \gamma + \eta \cdot 0.2954 = 0 \\ \gamma + \eta \cdot 0.16395 = 6000 \end{cases}$$

Resolvendo o sistema de equações, resulta:

$$\eta = 4463.85 \quad \text{e} \quad \gamma = -1318.71$$

Portanto, as funções relacionadas com a confiabilidade do posto são:

- Função Confiabilidade.

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t+1318.71}{4463.85}\right)^{1.925}} \quad (4-24)$$

- Função Probabilidade de Falha.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t+1318.71}{4463.85}\right)^{1.925}} \quad (4-25)$$

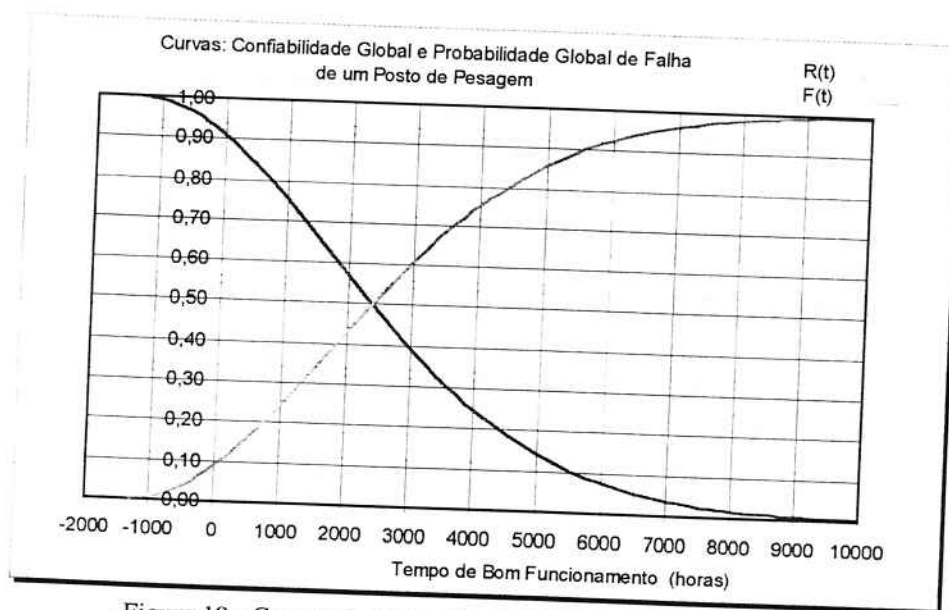
- Função Taxa Instantânea de Falha.

$$\lambda(t) = 4.312 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t+1318.71}{4463.85}\right)^{0.925} \quad (4-26)$$

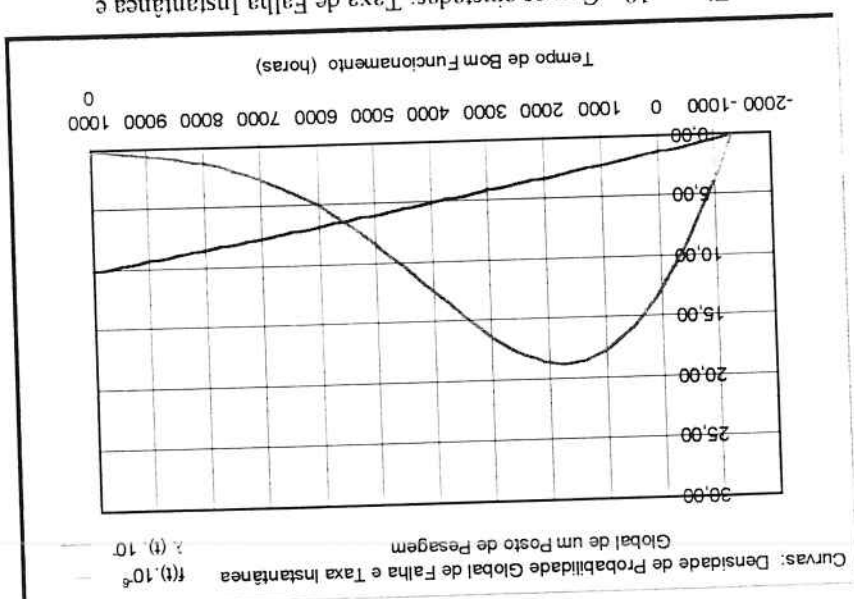
- Função Densidade de Probabilidade de Falha.

$$f(t) = 4.312 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{t+1318.71}{4463.85}\right)^{0.925} \cdot e^{-\left(\frac{t+1318.71}{4463.85}\right)^{1.925}} \quad (4-27)$$

Com as equações características do posto de pesagem, e com os parâmetros de Weibull, obtém-se as curvas ajustadas, mostradas nas figuras 18 e 19.



- Figura 18 - Curvas ajustadas: Confiabilidade e Probabilidade de Falhas.



- Figura 19 - Curvas ajustadas: Taxa de Falha Instantânea e Densidade de Probabilidade de Falha.

O MTTF global do posto pode ser obtido pela equação (+9) ou pela equação (+15).

$$MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{1}{\eta} + \gamma t\right)} dt + \gamma$$

$$MTTF_G = 3959.50 - 1318.71$$

$$MTTF_G = 2640.79 \text{ horas.}$$

A confiabilidade do posto para $t=MTTF$:

$$R_p = e^{-\left(\frac{1}{\eta} + \gamma t\right)} = e^{-\left(\frac{1}{1.925} + 0.000067 \cdot 2640.79\right)} = e^{-0.4521}$$

$$R_p = 0.4521$$

Dos quatorze postos em operação, 45.21%, ou seja, seis postos, atingirão o MTTF (2640.79 horas) um posto encontrar-se-á com uma confiabilidade de 32.94 %, havendo portanto, uma probabilidade de 67.06% de falha.

A taxa de falha instantânea para $t=MTTF$ é:

$$\lambda(t) = 4.312 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\frac{4463.85}{2640.79 + 1318.71}\right)^{0.925}$$

$$\lambda(t) = 3.86 \cdot 10^{-4} \text{ falhas/hora.}$$

4.5 DETERMINAÇÃO DA MANUTENABILIDADE E DISPONIBILIDADE DE UM POSTO DE PESAGEM

4.5.1 Determinação da Manutenibilidade dos Componentes pela Distribuição de Weibull

As equações de Weibull relacionadas com a Manutenibilidade são análogas às equações relacionadas à Confiabilidade, as quais estão descritas a seguir:

• Função Manutenibilidade

$$M(t) = 1 - e^{-\left(\frac{1}{\eta} + \gamma t\right)}$$

• Função Taxa Instantânea de Reparo

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

• Função Densidade de Probabilidade de Reparo

(+29)

(+28)

$$g(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (4-30)$$

O valor esperado $E(t)$ para a obtenção de MTTR é determinado pela equação (4-34).

$$E(t) = \int_0^{\infty} t \cdot g(t) \cdot dt = MTTR \quad (4-31)$$

Seguindo o mesmo procedimento utilizado para a obtenção de MTTF, temos:

$$MTTR = \eta \cdot \left(\frac{1}{\beta} \right) + \gamma \quad (4-32)$$

A tabela 11 mostra os valores dos parâmetros β , η e γ de cada componente, os quais foram obtidos de acordo com o algoritmo de Weibull, e a tabela 12 mostra os valores de MTTR, $M(t)$ e $\mu(t)$, obtidos em função dos parâmetros β , η e γ de cada componente.

- TABELA 11 -
PARÂMETROS DE WEIBULL PARA ANÁLISE DA
MANUTENABILIDADE DOS COMPONENTES DO POSTO DE PESAGEM

PARÂMETROS DE WEIBULL PARA ANÁLISE DA MANUTENABILIDADE				
	Componentes	β	η	γ
1	Controlador Lógico	1,4451	72	-39
2	Micro Industrial	1,1132	43	-12,9
3	Monitor de Vídeo	2,057	63	-38,67
4	Teclado	1,0309	1,6	1,89
5	Impressora	0,675	6,5	0
6	Detectores de Ruptura	1,3925	50	-28,75
7	No-Break	1,4999	70	56,94
8	Baterias	2,057	140	-76,33
9	Semáforos	1,2003	2,2	0
10	Sensores Óticos	1,3418	3,3	0

- TABELA 12 -
TEMPO MÉDIO DE REPARO, MANUTENABILIDADE
E TAXA INSTANTÂNEA DE REPARO

TEMPO MÉDIO DE REPARO, MANUTENABILIDADE E TAXA INSTANTÂNEA DE REPARO				
	Componentes	MTTR (h)	$M(t)$ (%)	$\mu(t) \times 10^{-2}$ reparos/hora
1	Controlador Lógico	26,31	58,05	1,92
2	Micro Industrial	28,43	61,59	2,58
3	Monitor de Vídeo	17,14	54,13	2,87
4	Teclado	3,47	62,74	64,41
5	Impressora	8,53	69,92	9,51
6	Detectores de Ruptura	16,86	58,52	2,69
7	No-Break	119,29	56,86	2,02
8	Baterias	47,70	54,13	1,29
9	Semáforos	2,07	60,51	53,89
10	Sensores Óticos	3,03	59,00	39,49

4.5.2 DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE GLOBAL DE UM POSTO DE PESAGEM

4.5.2.1 Determinação da Disponibilidade dos Componentes do Posto de Pesagem

A Disponibilidade parcial é obtida através da equação (4-33).

$$D = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad (4-33)$$

Com os valores de MTTR da tabela 14 e os valores de MTTF de cada componente, aplicados na equação (4-36), foi montada a tabela 15, que mostra a disponibilidade de cada componente.

- TABELA 13 -
DISPONIBILIDADE OPERACIONAL DOS
COMPONENTES DO POSTO DE PESAGEM

DISPONIBILIDADE		
	Componente	D %
1	Controlador Lógico	99,63
2	Micro Industrial	99,68
3	Monitor de Vídeo	99,77
4	Teclado	99,97
5	Impressora	99,91
6	Detectores de Ruptura	99,78
7	No-Break	99,13
8	Baterias	99,71
9	Semáforos	99,98
10	Sensores Óticos	99,97

4.5.2.2 Determinação da Disponibilidade Global de um Posto de Pesagem

A disponibilidade global de um posto é obtida pela equação (4-34).

(4-34)

$$D_g = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i} - (N - 1)}$$

onde:

D_i : disponibilidade do componente i .

N : número de componentes.

$$D_g = \frac{1}{10,0248 - (10 - 1)} = 0,9758$$

Isto significa que, em geral, os postos de pesagem automatizados têm uma disponibilidade de 97,58%, ou seja, para uma programação mensal de 720 horas de operação, os postos terão uma disponibilidade para operação de 702,60 horas.

Com o valor de MTTF global e o valor de disponibilidade global na equação (4-33), obtém-se o MTTR global de um posto de pesagem.

$$MTTR_g = \frac{2640,79 - 0,9758 \times 2640,79}{0,9758}$$

$$MTTR_g = 65,49 \text{ horas.}$$

5 ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DE CONFIGURAÇÕES COM POSTOS DE PESAGEM

Os postos automatizados e informatizados são interligados a um sistema central de servidor de rede, que recebe todas as informações referentes às pesagens realizadas. Com este sistema o veículo poderá efetuar a entrada em um posto e a saída em outro posto, agilizando a operação e aumentando a produtividade operacional do sistema.

5.1 CONFIGURAÇÕES POSSÍVEIS DE SISTEMAS DE PESAGEM

5.1.1 SISTEMAS OPERACIONAIS COM DOIS POSTOS DE PESAGEM

Para otimizar o processo de pesagem em função do método de operação, ou seja, pesagem parcial, carga ou descarga do veículo nos armazéns e pesagem final, é fundamental a participação de dois postos alocados estrategicamente na área portuária, normalmente no início e no final do processo.

Este sistema não só otimiza o transporte de veículos, tempo de espera, tempo de fila dos usuários como também minimiza o número de veículos em trânsito na área portuária.

5.1.1.1 Postos de Pesagem com funções complementares

A figura 20 mostra uma característica de postos com funções complementares.



- Figura 20 - Configuração de dois postos com funções complementares

A confiabilidade do sistema da figura 20 é obtida pela equação (5-1).

$$R_s = (R_p)^2 \quad (5-1)$$

Pela equação de Weibull, temos:

$$R_s = \left(e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right)^2 \quad (5-2)$$

com: $\beta = 1.925$ $\eta = 4463.85$ e $\gamma = -1318.71$

Substituindo os valores na equação (5-2), temos:

$$R_s = (0,4521)^2$$

$$R_s = 0.2044$$

A determinação do MTTF do sistema é obtida pela equação (5-3).

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} \left(e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right)^2 dt \quad (5-3)$$

Aplicando a definição obtida pela confiabilidade, temos:

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} e^{-2\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} dt + \gamma \quad (5-4)$$

$$MTTF_s = 1443.53 \text{ horas.}$$

5.1.1.2 Postos de Pesagem com funções independentes

Os postos de pesagem têm funções independentes quando os mesmos, em função do fluxo de veículos na área portuária, podem realizar as duas formas de pesagem, parcial e final, em qualquer horário do período de trabalho.

A figura 21 mostra o diagrama de blocos caracterizando um sistema com dois postos de funções independentes.



- Figura 21 - Configuração de dois postos com funções independentes

$$R_s = 1 - (1 - R_p)^2 \quad (5-6)$$

$R_s = 0.6998$, ou seja, uma confiabilidade operacional de 69.98 %.

O tempo médio de bom funcionamento deste sistema, cujos componentes são idênticos, será obtido pela equação (5-7).

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_p) \right] dt. \quad (5-7)$$

Susbtituindo os parâmetros de Weibull, temos:

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} \left[1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \right)^n \right] dt. \quad (5-8)$$

Para $n=2$, a equação (5-8) resulta em:

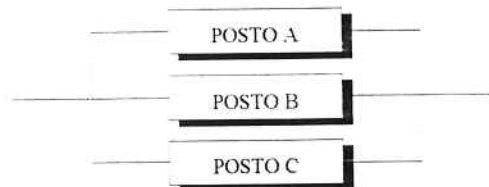
$MTTF_s = 3838,05$ horas.

5.2 SISTEMAS OPERACIONAIS COM TRÊS POSTOS DE PESAGEM

A operação com três postos de pesagem permite mais agilidade no processo, principalmente se os postos estiverem localizados a uma certa distância um do outro. Este sistema funciona da seguinte forma: quando um veículo entra na área portuária, procura o posto mais próximo, dirigindo-se em seguida para carga ou descarga; em outro posto, no local mais próximo à carga/descarga poderá ser feito o fechamento.

Com isso, o condutor do veículo otimiza o seu tempo e evita-se congestionamento no posto em que se efetuou a pesagem parcial, pois é comum a ocorrência de postos com filas imensas e outros postos com poucas filas, ou até mesmo ociosos, ou seja, sem movimento.

A figura 22 mostra um de sistemas formado por três postos com funções independentes.



- Figura 22 - Configuração de três postos com funções independentes.

Aplicando novamente a distribuição binomial, para $r=1$ e $n=3$, temos:

$$R_s = 1 - (1 - 0,4521)^3$$

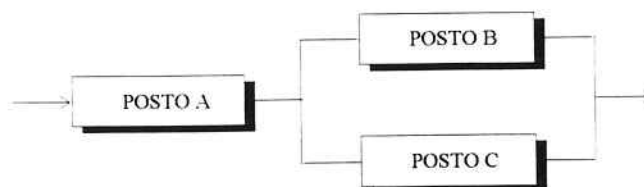
$$R_s = 0,8355$$

O MTTF do sistema com três postos de pesagem com funções independentes é obtido pela equação (5-9).

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} \left[1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \right)^3 \right] dt. \quad (5-9)$$

$MTTF_s = 4510,68$ horas.

A figura 23 mostra um caso de configuração mista, ou seja, trata-se de um sistema com três postos de pesagem, sendo um posto complementado por outros dois, operando com funções independentes.



- Figura 23 - Configuração com três postos de pesagem: um posto sendo complementado por dois postos com funções independentes.

A confiabilidade do sistema da figura 26 será determinada aplicando o conceito das equações (5-1) e (5-6), resultando na equação (5-10).

$$R_s = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \left[1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right)^2 \right] \quad (5-10)$$

$$R_s = 0.3164$$

O MTTF do sistema será determinado pela integral da equação (5-10).

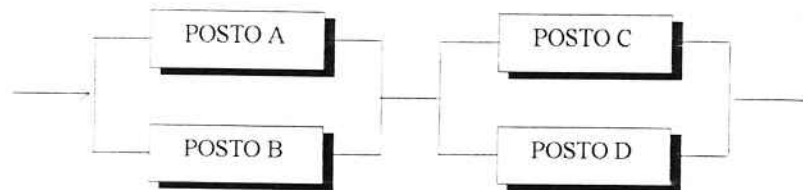
$$MTTF_s = \int_0^{\infty} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \left[1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right)^2 \right] dt \quad (5-11)$$

$$MTTF_s = 1968.15 \text{ horas.}$$

5.3 SISTEMAS OPERACIONAIS COM QUATRO POSTOS DE PESAGEM

Devido à localização dos postos no terminal, viabiliza-se a operação com três e quatro postos, pois tratam-se de quatro postos com operações bidirecionais, integrados a um sistema servidor de rede central.

Quando o fluxo de veículos é muito grande, operam-se com dois postos para entrada e dois postos para a saída, formando uma configuração de funções complementares, associando dois sistemas com postos de funções independentes, como mostrado na figura 24.



- Figura 24 - Configuração com quatro postos de pesagem: dois sistemas complementares, com postos de funções independentes

A confiabilidade do sistema da figura 24 é obtida pela associação série de dois sistemas idênticos ao sistema mostrado na figura 21, conforme mostra a equação (5-12).

$$R_s = \left[1 - (1 - R_p)^2 \right] \left[1 - (1 - R_p)^2 \right] \quad (5-12)$$

$$R_s = \left[1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right)^2 \right]^2 \quad (5-13)$$

$$R_s = 0.4897$$

O MTTF do sistema será determinado pela integral da equação (5-13).

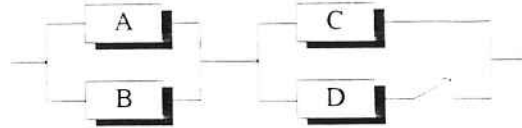
$$MTTF_s = \int_0^{\infty} \left[1 - \left(1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \right)^2 \right]^2 dt \quad (5-14)$$

$$MTTF_s = 2706.78 \text{ horas.}$$

5.3.1 Sistemas operacionais com três postos em operação e um posto reserva

Estes sistemas permitem uma confiabilidade maximizada de forma que, quando ocorre a falha de um dos postos, imediatamente é colocado em operação o posto de reserva, que deverá estar apto para entrar em operação quando solicitado.

A figura 25 mostra uma configuração com três postos em operação: sendo, dois sistemas com funções complementares: um deles, formado por dois postos com funções independentes e outro formado por um posto com função complementar e um posto reserva.



- Figura 25 - Configuração com quatro postos de pesagem: dois sistemas complementares:

1 - Dois postos com funções independentes.

2 - Um sistema com um posto em operação e um posto reserva.

A confiabilidade do sistema da figura 25 será obtida de acordo com a equação (5-15), de onde se observa que o sistema formado pelos blocos A e B opera em série com o sistema formado pelos blocos C e D; logo:

$$R_s = P(AB) \cdot P(CD) \quad (5-15)$$

A confiabilidade do sistema dos blocos AB já foi obtida anteriormente, onde:

$$P(AB) = 1 - [1 - (0,4521)]^2 = 0,6998$$

Para que o sistema formado pelos blocos C e D falhe, é necessário que ambos falhem; ao contrário..

Para garantir a operacionalidade do sistema é preciso que não ocorra nenhuma falha ou no máximo uma falha. A da confiabilidade do sistema formado pelos blocos C e D, será obtida pela distribuição de Poisson conforme mostra a equação (5-16), que fornece a probabilidade de x falhas no período de t = MTTF do posto.

Pelas equações de Weibull, temos:

$$P_x = \frac{\left(\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot t \right)^x}{x!} \cdot e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \quad (5-16)$$

$$P(CD) = P_0(CD) + P_1(CD) \quad (5-17)$$

$$P(CD) = e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} + e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \cdot \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot t \quad (5-18)$$

Portanto, a confiabilidade do sistema da figura 25 será determinada pela associação série dos blocos AB com os blocos CD, conforme mostra a equação (5-19).

$$R_s = \left[2e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} - e^{-2\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \right] \left[e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} + e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \cdot \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot t \right] \quad (5-19)$$

$$R_s = 0,6388$$

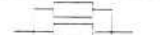
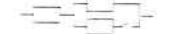
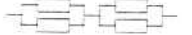
O MTTF global do sistema, será obtido pelo o cálculo integral da equação (5-19), conforme mostra a equação (5-20).

$$MTTF_s = \int_0^{\infty} \left[2e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} - e^{-2\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \right] \left[e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} + e^{-\left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta}} \cdot \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \cdot t \right] dt \quad (5-20)$$

$$MTTF_s = 2665,86 \text{ horas.}$$

O quadro da tabela 14 mostra as diferentes configurações de sistemas com postos de pesagem, que foram analisadas neste trabalho, para fins comparativos.

- TABELA 14 -
 QUADRO DEMONSTRATIVO DAS CONFIGURAÇÕES DE
 SISTEMAS COM POSTOS DE PESAGEM E SUAS RESPECTIVAS CONFIABILIDADES
 OPERACIONAIS

QUADRO DE CONFIGURAÇÕES COM POSTOS DE PESAGEM			
CONFIGURAÇÃO		MTTF (horas)	CONFIABILIDADE (%)
1		2640,79	45,21
2		1443,53	20,44
3		3838,05	69,98
4		5281,57	91,28
5		4510,12	83,55
6		6416,42	95,23
7		1968,15	31,64
8		1505,93	41,27
9		2706,78	48,97
10		2665,86	63,88
11		2269,51	83,34
12		6453,87	97,39
13		9799,65	99,24

6 CONCLUSÃO

Quando se trata de análise de sistemas complexos, constatou-se que alguns estudos tratam do assunto partindo-se do princípio que componentes que compõem o sistema, operem com taxas de falha constante.

Com o auxílio de uma metodologia para solução das equações, foi possível obter um equacionamento matemático entre as funções relacionadas com confiabilidade, de forma a tratar os estudos com taxas de falhas variáveis no tempo, aplicadas para resolução de sistemas complexos. Com isso, constatou-se que os resultados obtidos considerando taxa de falha variável no tempo, variam consideravelmente se comparados aos resultados obtidos pelos métodos de cálculos com taxa de falha constante, na análise de um mesmo sistema.

Pela análise do comportamento de degradação através das taxas de falhas obtidas para cada componente, foram determinadas:

- A Confiabilidade Operacional de cada componente do postp pelo algoritmo de Weibull.
- Com as equações de confiabilidade dos componentes, de acordo com a configuração obtida, determinou-se os valores equivalentes dos parâmetros β , η e γ para um posto e, com estes parâmetros, foram determinados seus índices relativos à confiabilidade operacional.

- Com os valores obtidos para o posto, foram analisadas várias configurações entre postos, caracterizando uma realidade operativa.
- Através das análises de confiabilidade de configurações de sistemas (caracterizando uma realidade operativa), e pela média dos tempos de bom funcionamento obtida para cada sistema, pode-se aumentar o intervalo entre as intervenções preventivas dos postos que compõe o sistema em questão, nos casos em que o MTTF do sistema é superior ao MTTF do posto e com confiabilidade operacional maximizada. Minimiza-se os custos com manutenção preventiva, contribuindo-se também para minimização dos custos relativos à manutenção corretiva, em função de paralisações prolongadas.
- De acordo com os índices de confiabilidade e os tempos de reparo, podem ser determinados os custos operacionais e os custos de manutenção. Em função do MTTF e do MTTR, define-se a melhor política de manutenção com minimização de custos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ADATIA, A., CHAN, L.K. Robust estimators for the 3-parameter Weibull distribution. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-34, p.347-351, Oct. 1985.
- [2] BARBER, Jr., C.F. Expanding Maintainability concepts and techniques. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-16, n. 1, p.5-9, May 1967.
- [3] BONDIOLI, N.M.O. A manutenção preditiva na CESP. **IEEE - Electron**, n. 8, p. 11-12, agosto 1993.
- [4] BURY, K.V. Bayesian decision analysis of the hazard rate for a two-parameter Weibull distributions process. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-21, n. 3, p.159-169, Aug. 1972.
- [5] CAMARGO, C.C.B. **Confiabilidade aplicada a sistemas de potência elétrica**. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1981.
- [6] CRAN, G.W. Moment estimators for the 3-parameter Weibull distribution. **IEEE Transactions on Reliability**, v.37, p.360-363, Oct. 1988.
- [7] DUGAN, J.B.; BAVUSO, S.J.; BOYD, M.A. Dynamic fault-tree models for fault-tolerant computer systems. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 41, n. 3, p.363-377, Sept. 1992.
- [8] EVANS, R. A generalized limit theorem for reliability. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-18, n. 2, p.45-46, May 1969.
- [9] FARQUI, E.A. Automação e informatização aplicada a controle e supervisão de processos de pesagem. São Paulo, 1995 Tese de Doutorado - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [10] FERREIRA JR., W.P.; PICUCCI, E.; SPADA, J.A. Transformação de taxas de falha em confiabilidade. **IEEE - Electron**, n. 8, p. 16-17, agosto 1993.
- [11] GALLEGOS, J. Manutenção baseada em confiabilidade. **Manutenção**, n. 44, p.23-24, set./out. 1993.
- [12] GUTH, M.A.S. A probabilistic foundation for vagueness & imprecision in fault-tree analysis. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 40, n. 5, p. 563-570, Dec. 1991.
- [13] HOBBS, J.R., MOORE, A.H., MILLER, R.M. Minimum-distance estimation of the parameters of the 3-parameter Weibull distribution. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-34, p.347-351, Oct. 1985.
- [14] IYER, S. The mean time-to-failure of some special series-parallel arrays. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 40, n. 1, p. 20-21, April 1991.
- [15] JAYABALAN, V.; CHAUDHURI, D. Cost optimization of maintenance scheduling for a system with assured reliability. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 41, n. 1, p.21-25, March 1992.
- [16] KROHN, C.A. Hazard versus renewal rate of electronic items. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-18, n. 2, p.64-71, May 1969.
- [17] LI, Y-M. A general linear-regression analysis applied to the 3-parameter Weibull distribution. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 43, n. 2, p.255-263, June 1994.

- [18] MEYKAR. O.A. Maintainability terminology supports the effectiveness concept. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-16, n. 1, p.10-11, May 1967.
- [19] MONCHY. F. **A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. Trad. J. C. Karssaklian. São Paulo. Durban/Ebras. 1989.
- [20] MORROW. L.C. **Maintenance engineering handbook**. 1.ed. New York. McGraw-Hill. 1957.
- [21] MÜLLER. R., SCHUWARZ. E. **Confiabilidade: tabelas e nomogramas para uso prático**. Trad. B.B.T. Wagner e E. Wagner. 1.ed. São Paulo. Nobel/Siemens S/A. 1986.
- [22] NAJJAR. W.A.; GAUDIOT. J.L. Scalability analysis in gracefully-degradable large systems. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 40, n. 2, p. 189-197, June 1991.
- [23] NELSON. W. Graphical analysis of accelerated life test data with the inverse power law model. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-21, n. 1, p.2-11, Febr. 1972.
- [24] PAGE. L.B.; PERRY. J.E. Standard deviation as an alternative to fuzziness in fault tree models. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 43, n. 3, p.402-407, Sept. 1994.
- [25] PAINTON. L.; CAMPBELL. J. Genetic algorithms in optimization of system reliability. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 44, n. 2, p.172-178, June 1995.
- [26] PEREIRA. S.L. Aspectos sobre processos de pesagem rodoferroviária: uma proposta de modernização de postos em operação. São Paulo. 1996 Tese de Doutorado - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.
- [27] PETERSON. E.L. Maintainability derivations using the analytical maintenance model. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-17, n. 2, p.111-115, June 1968.
- [28] PUCCI. C.D.; PACHECO. C. Controle da qualidade: desmistificano a norma ISO 9000. **Revista PS-Produtos e Serviços**, n. 221, n.p., s.d. /Separata/
- [29] RAMAKUMAR. R. **Engineering reliability: fundamentals and applications**. New Jersey. Prentice-Hall. 1993.
- [30] SANTOS. I.E. Manutenção preditiva nas linhas de transmissão da CESP. **IEEE - Electron**, n. 8, p. 13-15, agosto 1993.
- [31] TILLMAN. F.A. Optimization by integer programming of constrained reliability problems with several modes of failure. **IEEE Transactions on Reliability**, v. r-18, n. 2, p. 47-53, May 1969.
- [32] TSANG. A.H.C.; JARDINE. A.K.S. Estimators of 2-parameter Weibull distributions from incomplete data with residual lifetimes. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 42, n. 2, p.291-298, June 1993.
- [33] ZHENG. X.; FARD. N. A maintenance policy for repairable-systems based on opportunistic failure-rate tolerance. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 40, n. 5, p. 237-244, June 1991.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PEA/9301 - Alguns Aspectos do Problema de Planejamento de Sistemas de Transmissão sob Incertezas - CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN, ERNESTO JOÃO ROBBA
- BT/PEA/9302 - Vibrações em Motores Elétricos Provocadas por Forças Magnéticas - ORLANDO SILVIO LOBOSCO, HENRIQUE PRADO ALVAREZ
- BT/PEA/9303 - Corrente Contínua em Alta Tensão: Aplicação de Equipamentos Elétricos e Modelos para Análises de Confiabilidade - LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9504 - Automação e Informatização Aplicadas a Controle e Supervisão de Processos de Pesagem - EVALDO ARAGÃO FARQUI, EDUARDO MÁRIO DIAS
- BT/PEA/9505 - Modernização e Reabilitação de Usinas Hidrelétricas - DJALMA CASELATO, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9506 - Estudo do Campo Elétrico Provocado por Linhas de Transmissão em Corrente Alternada - CELSO PEREIRA BRAZ, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9507 - Aspectos Sobre Processos Automatizados de Pesagem Rodoferrviária: Uma Proposta de Modernização de Postos em Operação - SERGIO LUIZ PEREIRA, CÍCERO COUTO DE MORAES
- BT/PEA/9508 - Usinas Hidrelétricas em Rotação Ajustável: Novas Premissas para o Planejamento Energético - MARCO ANTONIO SAIDEL, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9509 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação de Subestações pela integração de Módulos de Software e Hardware Existentes no Mercado Brasileiro - L. C. MAGRINI, J. A. JARDINI, S. COPELIOVITCH, N. KABA FILHO
- BT/PEA/9510 - Proposta de um Modelo para Estudos de Aplicação de Compensadores Estáticos em Sistemas de Potência - JOSÉ TOSHIYUKI HONDA, LUIS CERA ZANETTA JÚNIOR
- BT/PEA/9511 - Metodologia e Testes para Redução das Distâncias Elétricas entre Fases de Barramentos de Subestações de 138kV Abrigadas, ANDRÉ NUNES SOUZA, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9512 - Avaliação da Severidade da Poluição para o Dimensionamento da Isolação das Redes Elétricas - ARNALDO G. KANASHIRO, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9513 - Processos Auto-Adaptativos para Cálculo de Campos Eletromagnéticos pelo Método dos Elementos Finitos - LUIZ LEBENSZTAJN, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9514 - Investigação Experimental sobre os Arcos Sustentados em Sistemas Elétricos de Baixa Tensão - FRANCISCO H. KAMEYAMA, GERALDO F. BURANI
- BT/PEA/9515 - Fast Voltage Compensation: A Mean to Improve the Quality of Energy Supply - H. ARANGO, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9516 - Modelo Avançado para Planejamento de Sistemas Energéticos Integrados Usando Recursos Renováveis - LUIZ ANTONIO ROSSI, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9601 - Metodologias para Planejamento de Sistemas de Distribuição: Estado-da-Arte e Aplicações - PAULO ROBERTO NJAIM, CARLOS MARCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9602 - Integração de Relés Digitais em Sistemas de Automação de Subestação - JERÔNIMO CAMILO SOARES JR., JOSÉ A. JARDINI, LUIZ C. MAGRINI
- BT/PEA/9603 - Paradigma de Planejamento sob Incertezas - Aplicação ao Planejamento dos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - ALBERTO BIANCHI JUNIOR, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9604 - Um Sistema de Controle de Velocidade para Motor de Indução Trifásico - CELSO KAZUMI NAKAHARADA, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9605 - Controle Vetorial de Motores de Indução, Independente das Alterações de Parâmetros da Máquina - NERY DE OLIVEIRA JÚNIOR, WALDIR PÓ
- BT/PEA/9606 - Compactação de Subestações de 145 kV Através da Redução das Distâncias entre Fases - GERVASIO LUIZ DE CASTRO NETO, ORLANDO SILVIO LOBOSCO
- BT/PEA/9607 - Curvas de Carga de Consumidores Industriais - Agregação com Outras Cargas - RONALDO PEDRO CASOLARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9608 - Utilização de Curvas de Carga de Consumidores Residenciais Medidas para Determinação de Diversidade de Carga, e Carregamento de Transformadores de Distribuição - EDUARDO LUIZ FERRARI, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9609 - Comportamento Elétrico de Cabos Cobertos e Pré-Reunidos pelo Método dos Elementos Finitos - JOÃO JOSÉ DOS SANTOS OLIVEIRA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9701 - Repotenciação de Hidrogeradores: Uma Proposta de Metodologia de Análise e Implantação - FÁBIO SALOMÃO FERNANDES SÁ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9702 - Desenvolvimento de um Sistema de Automação para um Sistema de Automação para um Centro de Operação da Distribuição - PAULO SÉRGIO MIGUEL SURUR, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9703 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Utilizando Programação Matemática Probabilística - MARIÂNGELA DE CARVALHO BOVOLATO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9704 - Técnicas de Inteligência Artificial Aplicadas ao Problema de Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição de Energia Elétrica - SALETE MARIA FRÖES, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9705 - Aproveitamento Funcional de Sistemas de Controle e Proteção Digitais em Subestações de Distribuição - JOSÉ LUIZ PEREIRA BRITTES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9706 - Avaliação de Algoritmo para Proteção Diferencial de Transformadores - LUÍS SÉRGIO PIOVESAN, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9707 - Sistema de Proteção para Falhas de Alta Impedância - CAIUS VINICIUS SAMPAIO MALAGODI, EDUARDO CÉSAR SENER
- BT/PEA/9708 - Um Ambiente para Planejamento da Operação de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica - KLEBER HASHIMOTO, NELSON KAGAN
- BT/PEA/9709 - Análise do Custo - Benefício da Instalação de Equipamentos de Proteção em Redes Aéreas de Distribuição - ANTONIO CLAUDINEI SIMÕES, JOSÉ ANTONIO JARDINI
- BT/PEA/9710 - Planejamento Integrado de Recursos Energéticos - PIR - para o Setor Elétrico - MIGUEL EDGAR MORALES UDAETA, LINEU BELICO DOS REIS
- BT/PEA/9711 - Análise de Defeitos no Motor de Indução Trifásico para Predição de Falhas Incipientes - JOSÉ ANTONIO URCIA MISARI, CÍCERO COUTO DE MORAES

- BT/PEA/9712 - Gerenciamento de Transformadores de Distribuição com Análise na Perda de Vida - CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN, VLADIMIR DUARTE BELCHIOR
- BT/PEA/9713 - Uma Nova Metodologia para a Avaliação de Sistemas de Aterramento Metro-Ferrovíarios - JOSÉ AUGUSTO PEREIRA DA SILVA, JOSÉ ROBERTO CARDOSO
- BT/PEA/9714 - Um Exemplo de Decomposição de Fluxos em Transformadores - NICOLAU IVANOV, LUIZ CERA ZANETTA JR.
- BT/PEA/9715 - Custos de Transporte de Energia Elétrica - Análise de Metodologias - DÁRIO TAKAHATA, CARLOS MÁRCIO VIEIRA TAHAN
- BT/PEA/9716 - Bancada de Ensaios para a Avaliar o Comportamento de Acionamentos Controlados por Inversores PWM - JOSÉ ANTONIO CORTEZ, ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JR.
- BT/PEA/9717 - Integração de Técnicas de Diagnóstico de Falhas em Motores de Indução Trifásicos ao Sistema de Gerenciamento da Manutenção Industrial - JOSÉ A. URCIA MISARI, CICERO COUTO DE MORAES

