ANÁLISE DA CONFIABILIDADE: UM ESTUDO DE CASO

Josiane Roberta dos Santos Silva (UFOP)
josi.roberta81@gmail.com
Luciana Aparecida Dutra de Souza (UFOP)
luciana24dutra@yahoo.com.br
Luiza Zambalde de Castro (UFOP)
luizazambalde@yahoo.com.br
Thais Alves Ferreira (UFOP)
taisf12@yahoo.com.br
Magno Silverio Campos (UFOP)
magno.sopmac@gmail.com

A confiabilidade possui um papel fundamental no estudo de equipamentos, levando em conta que há uma grande dificuldade de se obter com exatidão seus tempos de vida. Para realização da aplicação da confiabilidade é necessário um conhecimento do produto ou equipamento, pois é através deste conhecimento que será possível determinar os modos e as causas de falhas. Além disso, a confiabilidade tem como característica a versatilidade, pois através de determinado número de dados é possível fazer uma abrangência para outros equipamentos.

O objetivo desse trabalho é determinar a partir da confiabilidade, com análises quantitativas uma elaboração de garantia do tempo de vida de um equipamento eletrônico. Foi necessária a utilização de um software voltado para o cálculo da confiabilidade, no caso o Minitab versão 17.1.0, para a análise da garantia. Foi feito então o teste de aderência com base na estatística de Anderson-Darling, mostrando que a distribuição que melhor modelava os dados era a distribuição Lognormal, e assim foi possível obter as principais medidas de confiabilidade: tempo médio até a falha, tempo mediano de vida e percentual de falhas, mostrando a eficiência na obtenção dos resultados.

Confiabilidade, tempo de vida, equipamento.

Palavras-chave: Confiabilidade, tempo de vida, equipamento.

1. Introdução

A economia globalizada tem forçado as empresas a serem mais competitivas, estando preparadas para frequentes mudanças que venham ocorrer na economia e estar sempre em busca de algum diferencial em sua produção, seja esta de bens ou serviços. Não há apenas a necessidade de se ter um menor custo, mas também a variedade na produção, qualidade, desempenho na entrega e baixo preço.

Levando todos estes fatores em consideração, antes de se lançar algum produto no mercado, a empresa precisa conhecer a porcentagem deles que irá falhar em determinado período de tempo, para então criar políticas de garantia do produto. Segundo Carvalho (2008) existem duas grandes vertentes com relação a possíveis áreas de atuação da engenharia de confiabilidade que podem dar suporte às empresas: aplicações relacionadas no desenvolvimento de novos produtos e aplicações direcionadas à tomada de decisão em ações de manutenção. Com a confiabilidade é possível se estabelecer leis de falhas sistêmicas e de dispositivos, levando a busca pela minimização de sua ocorrência.

É possível se chegar à confiabilidade de um produto ou item através de testes, sejam eles: testes de campo, testes simulados ou ainda testes de laboratório. Tais testes variam de acordo com as especificações do componente a ser testado, o procedimento a ser utilizado e o critério de aceitação para validação do componente.

Apesar de se saber a importância da confiabilidade e de todo o seu avanço do século XX para o XXI, é notável que ainda há uma grande deficiência de estudos e trabalhos relacionados a esta área. Além de poucas pesquisas encontradas, o que dificulta a disseminação da confiabilidade é que ainda há empresas que encaram esta ferramenta dispensável ou como algo que pode ser adiado para o futuro.

A proposta desse artigo tem como objetivo apresentar as ferramentas de confiabilidade, explorando seus principais conceitos, tais como o tempo de vida de um equipamento ou produto, contribuindo com mais um estudo de caso na literatura.

Foi proposto um problema, no qual se observou a aplicabilidade de alguns modelos de distribuição e analisou-se a confiabilidade para um equipamento eletrônico.

2. Confiabilidade

Segundo Gnedenko e Ushakov (1995) a confiabilidade é uma aquisição do século XX. Ela surgiu devido ao fato de que vários equipamentos e sistemas técnicos começaram a realizar importantes funções industriais, sendo útil também para a segurança das pessoas e seus bens. A teoria da confiabilidade foi desenvolvida, inicialmente, para atender as necessidades da indústria eletroeletrônica, pois os primeiros sistemas complexos surgiram nesse ramo da engenharia. Tais sistemas possuem componentes relativamente confiáveis, porém seu grande número gera uma confiabilidade baixa. Dessa forma, foi desenvolvida uma disciplina matemática aplicada, especializada nessa área, que permitiu um avanço nos índices de confiabilidade na fase de concepção, que serviu de base para melhoria em manutenção e para estimar a confiabilidade através de testes ou exploração especial.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009) em seu sentido mais amplo, a confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas, ou seja, confiabilidade é a probabilidade de um item desempenhar satisfatoriamente a função requerida, sob condições de operação estabelecidas, por um período de tempo predeterminado.

Os conceitos de confiabilidade e qualidade estão atrelados entre si, o que faz com que frequentemente eles sejam confundidos entre si. Confiabilidade incorpora a passagem do tempo, o que não ocorre com a qualidade, já que consiste na descrição de um item. Um exemplo dado por Fogliatto e Ribeiro (2009) é o de dois transistores, que apresentam qualidade idêntica, mas o primeiro transistor possui uma confiabilidade provavelmente maior, pois será usado em um ambiente de menor estresse. Pode-se concluir que alta confiabilidade implica em qualidade, porém a recíproca não é verdadeira.

Quando um consumidor adquire algum produto, ele está ciente de que este pode vir a falhar em algum momento. Para se ter alguma segurança quanto a isso, a empresa oferece um tempo de garantia, baseada na confiabilidade, sendo uma forma de proteção legal para falhas que ocorram em dado período.

2.1. Principais conceitos da confiabilidade

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009) e Freitas e Colosimo (1997), temos as seguintes definições em confiabilidade:

- Qualidade: pode ser definida como cumprimento das especificações de projeto e manufatura com o mínimo de variabilidade possível;

- Mantenabilidade: é definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas mediante condições preestabelecidas de uso, uma vez que houve a sua manutenção;

-Segurança: é a ausência de condições que causam danos físicos ou ocupacionais a pessoas, bem como danos ou perdas materiais;

-MTTF (*mean time to failure*) ou tempo médio até a falha: utilizado para produtos ou componentes não reparáveis;

-MTBF (*mean time between failures*) ou tempo médio entre as falhas: utilizado para produtos ou componentes reparáveis;

-MTTR (*mean time to repair*) ou tempo médio de reparo;

-Disponibilidade (*D*): indica o grau em que o equipamento (ou parte dele) estará em condições para iniciar a missão, quando esta for solicitada, num instante determinado. É obtida através da seguinte expressão:

$$\boldsymbol{D = \frac{MTTF}{MTBF + MTTR}}$$

-*Pp*: percentil *p*%, isto é, o tempo no qual se espera que *p*% dos produtos colocados em operação venham a falhar;

-*R(t)* ou função de confiabilidade: para um determinado tempo *t*, esta fornece a confiabilidade do produto, ou seja, a probabilidade de o produto funcionar para um período superior a *t*;

-*h(t)* ou função da taxa de falha: é a taxa instantânea de falha no tempo *t*, dado que o componente estava em operação até o tempo *t*.

2.1.1. Tempo até a falha

É a probabilidade de que um item venha falhar durante um intervalo de tempo $(\boldsymbol{t};\boldsymbol{t}+\boldsymbol{\Delta t}]$.

Pode assumir valores discretos. Consideraremos uma variável *T* distribuída continuamente, com densidade de probabilidade dada por *f(t)* e Função de Distribuição Acumulada dada por:

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_{-\infty}^{t} \boldsymbol{f(u)du},\ t>0$$

A densidade de probabilidade *f(t)* é definida como:

$$f(t) = \mathrm{F}'(\mathrm{t}) = \frac{d}{dt}\mathrm{F}(\mathrm{t}) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{F(t+\Delta t)-F(t)}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{P(t<T\leq t+\Delta t)}{\Delta t}$$

Para valores pequenos de *t*, a seguinte aproximação pode ser usada:

$$\mathrm{P}(\mathrm{t} < \mathrm{T} \leq \mathrm{t}+\Delta t) \approx f(t).\Delta t$$

2.1.2. Função de confiabilidade

Supondo $\boldsymbol{n_0}$ unidades idênticas submetidas a um teste em condições pré-definidas.

Transcorrido o intervalo $(\boldsymbol{t}+\boldsymbol{\Delta t})$, $\boldsymbol{n_f}$(t) unidades falharam e $\boldsymbol{n_s}$*(t)* unidades sobreviveram, tal

que:

$$\boldsymbol{n_f}(\mathrm{t}) + \boldsymbol{n_s}(\mathrm{t}) = \boldsymbol{n_0}$$

A confiabilidade da unidade é definida como a sua probabilidade acumulada de sucesso; assim, em um tempo *t*, a função de confiabilidade *R(t)* é:

$$\boldsymbol{R(t)} = \frac{n_s(\mathrm{t})}{n_f(\mathrm{t}) + n_s(\mathrm{t})} = \frac{n_s(\mathrm{t})}{n_0}$$

Considerando a variável *T* definida anteriormente, a função de confiabilidade em um tempo *t* pode ser expressa como:

$$\boldsymbol{R(t) = P(T > t)}$$

A função de distribuição acumulada de *T*, *F(t)*, é o complemento de *R(t)*, ou seja:

$$\boldsymbol{R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_{t}^{+\infty} f(u)du}$$

Assim, a função de confiabilidade *R(t)* informa a probabilidade de a unidade sobreviver ao intervalo (0,t].

2.1.3. Função de risco

Também chamada de taxa de risco ou taxa de falha, é a mais popular das medidas de confiabilidade.

"A velocidade de ocorrência de falhas pode ser expressa através do parâmetro taxa de falhas sendo a análise de falhas um processo interativo cujo sucesso depende de se determinar relações implícitas entre causa e efeito" (CARVALHO, 2008).

Existem três classificações básicas para a função de risco:

- Função de Risco Crescente (FRC): a incidência de risco cresce com o tempo;

- Função de Risco Decrescente (FRD): a incidência de risco decresce com o tempo;

- Função de Risco Constante ou Estacionária (FRE): onde a unidade está exposta a uma mesma quantidade de risco em qualquer momento do tempo.

A função pode ser derivada usando a idéia de probabilidade condicional. Segundo Montgomery e Runger (2009) para dois eventos *A* e *B*, temos que a probabilidade de *B* ocorrer dado *A* é:

$$\boldsymbol{P(B|A) = \frac{P(B \cap A)}{P(A)}}$$

Considerando, primeiramente, a probabilidade de falha entre *t* e $t+\Delta\boldsymbol{t}$, dada por:

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t) = \int_{t}^{t+\Delta t} f(u)du = R(t) - R(t + \Delta t)$$

Condicionando no evento da unidade estar operando no tempo *t* chegar-se à seguinte expressão com o uso da fórmula de probabilidade condicional:

$$P(t \leq T \leq t + \Delta t | T \geq t) = \frac{P(t \leq T \leq t + \Delta t)}{P(T \geq t)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

Uma taxa de falha média no intervalo (t, $t+\Delta t$) pode ser obtida dividindo a equação anterior por Δt. Supondo $\Delta t \to 0$, obtém-se a taxa de falha instantânea, que é a função de risco, dada por:

$$h(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)\Delta t} = \frac{-R'(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{R(t)}, t \geq 0$$

Uma vez que é trabalhado com probabilidades, as funções de risco devem satisfazer as seguintes propriedades:

- $\int_0^{\infty} h(t)dt = +\infty$

- $h(t) \geq 0, \forall t \geq 0$

A unidade de medida em uma função de risco é normalmente dada em termos de falhas por unidade de tempo.

2.1.4. Tempo médio até a falha

O tempo médio até a falha de uma unidade, chamado por MTTF, é definido como:

$$MTTF = E(t) = \int_{0}^{+\infty} tf(t)dt$$

Ou seja, trata-se do valor esperado da variável *T*.

Como, $f(t) = -R(t)$, uma expressão alternativa para o MTTF pode ser assim obtida:

$$MTTF = -\int_0^{+\infty} tR'(t)dt$$

Integrando por partes, obtém-se:

$$MTTF = -[tR(t)]_0^{+\infty} + \int_0^{+\infty} R(t)dt$$

Se o $MTTF < \infty$, pode-se demonstrar que $-[tR(t)]_0^{+\infty} = 0$. Neste caso, obtém-se:

$$MTTF = \int_0^{+\infty} R(t)dt$$

2.2. Modelos de confiabilidade

Seguem os principais modelos de confiabilidade, tendo como base Fogliatto e Ribeiro (2009):

2.2.1. Modelo de confiabilidade Gamma

- Função de Confiabilidade

$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(u)du = \int_t^{+\infty} \frac{\lambda}{\Gamma(r)}(\lambda u)^{r-1}e^{-\lambda u}du$$

No caso de *r* inteiro, tem-se a distribuição de Erlang. Então:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^{t} f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du = \sum_{k=0}^{r-1} \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t)^k}{k!}$$

-Função de Risco ou Taxa de Falha

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

-Tempo Médio até a Falha

$$MTTF = E(T) = \frac{r}{\lambda}$$

-Percentil 100p%, t_p

$$P(T \leq t_p) = p \Rightarrow 1 - \sum_{k=0}^{r-1} \frac{e^{-\lambda t}(\lambda t_p)^k}{k!} = p$$

2.2.2. Modelo de confiabilidade Weibull

- Função de Confiabilidade

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du = e^{[-\left(\frac{t-\gamma}{\delta}\right)^{\beta}]}$$

-Função de Risco ou Taxa de Falha

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{-R'(t)}{R(t)} = -\frac{d}{dt} lnR(t) = \frac{\beta}{\delta}\left(\frac{t-\gamma}{\delta}\right)^{\beta-1} \ , t \geq 0$$

-Tempo Médio até a Falha

$$MTTF = E(T) = \gamma + \delta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

-Percentil 100p%, t_p

$$P(T \leq t_p) = p \Rightarrow t_p = \gamma + \delta[-ln(1-p)]^{\frac{1}{\beta}}$$

2.2.3. Modelo de confiabilidade Lognormal

- Função de Confiabilidade

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(u)du = \int_t^{+\infty} f(u)du = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)$$

-Função de Risco ou Taxa de Falha

A função taxa de falha da distribuição lognormal não tem uma forma fechada.

-Tempo Médio até a Falha

$$MTTF = E(T) = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

-Percentil 100p%, t_p

$$P(T \leq t_p) = p \Rightarrow t_p = e^{(z_p\sigma + \mu)}$$

Onde z_p é o 100% da normal padrão.

3. Testes de aderência

"Existem testes de hipóteses, chamados testes de aderência, que servem para testar hipóteses mais gerais sobre a distribuição dos dados, enquanto que outros são específicos para determinados modelos teóricos" (BESSEGATO, 2013).

É através da comparação das frequências amostrais com as frequências teóricas esperadas pelo modelo probabilístico que podemos verificar se uma dada distribuição se ajusta bem ou não aos dados amostrais.

Dada uma amostra aleatória de tamanho *n*, observada de uma variável aleatória *X*, o objetivo será testar:

H_0: X segue a distribuição f

H_1: X não segue a distribuição f

Segundo Bessegato (2013) a metodologia baseia-se em uma função que é construída a partir dos dados amostrais, comparando-a com a distribuição teórica. Os métodos vão variar conforme a função que será construída e a métrica de comparação.

Através do *software* Minitab é possível verificar alguns testes disponíveis:

-Teste de Ryan-Joiner

A função do teste é analisar se os dados provêm ou não de uma distribuição normal. Se o modelo for adequado o gráfico construído com os dados amostrais deve mostrar uma linha reta. O método baseia-se na construção de um modelo de regressão que verifica quão bom é o ajuste do mesmo.

-Teste de Anderson-Darling

Este teste é utilizado para testar hipóteses de aderência para modelos contínuos.

-Teste de Kolmogorov-Smirnov para Aderência

O teste de Kolmogorov-Smirnof testa a hipótese de que um conjunto de dados provém ou não de uma determinada distribuição. Neste caso, a comparação é feita considerando-se a função de distribuição empírica e a função de distribuição teórica esperada para os valores amostrais observados. A estatística distância é a maior diferença observada.

3.1. Anderson-Darling

"O teste de Anderson-Darling avalia se uma amostra vem de uma distribuição específica. Ele faz uso do fato de que, quando dada uma distribuição subjacente e admitindo a hipótese de que os dados não surgem a partir dessa distribuição os dados podem ser transformados com uma distribuição uniforme. Os dados da amostra podem ser transformados, em seguida, testados quanto a uniformidade com um ensaio de distância." (SHAPIRO, 1980).

A estatística de Anderson-Darling serve para medir quão bem os dados seguem uma distribuição particular. Quanto menor essa estatística for, implica que temos a melhor distribuição que se aplica aos dados.

É possível utilizá-la para comparar vários ajustes de distribuições e determinar qual deles se encaixa melhor aos dados. Para tanto, a estatística de Anderson Darling deverá ser a menor possível e caso haja valores próximos uns dos outros há a necessidade de critérios adicionais, tais como gráficos de probabilidade.

A fórmula para a estatística de teste A para avaliar se os dados vem de uma distribuição com a função de distribuição cumulativa F

$$AD^2 = -n - S$$

Onde:

$$S = \sum_{i=1}^{N} \frac{2i-1}{n} [\ln(F(X_i)) + \ln(1 - F(X_{n+1-i}))]$$

Para Shapiro (1980) os valores críticos para o teste de Anderson-Darling são dependentes da distribuição específica que está sendo testado. Os valores tabelados e fórmulas já foram publicadas para algumas distribuições específicas (Weibull, Lognormal, Gamma, Exponencial, dentre outras).

O teste é unilateral e a hipótese de que a distribuição é de uma forma específica é rejeitada se a estatística de teste, AD^2 , é maior do que o valor crítico.

3.2. Valor *p* nos testes de hipóteses

Usa-se o valor *p* para determinar se os resultados são estatisticamente significativos. Esses valores são muitas vezes utilizados em testes de hipótese, onde deseja-se rejeitar ou não a hipótese nula. O valor irá variar de 0 a 1, onde as probabilidades mais baixas irão fornecer evidências mais fortes contra a hipótese nula.

É feita uma comparação do valor *p* com o de α para decidir se a hipótese nula (H_0) será rejeitada:

- Se o valor *p* é menor ou igual a α, rejeitar H_0;

- Se o valor *p* é maior que α, não rejeitar H_0.

Um valor de 0,05 é usado frequentemente para α. Nessa situação, temos que se o valor *p* é menor ou igual a 0,05, rejeita-se $\boldsymbol{H_0}$.

4- Metodologia

O procedimento de pesquisa utilizado neste trabalho foi o estudo de caso de um equipamento eletrônico. Segundo Yin (2003), estudo de caso é uma forma de pesquisa empírica, que visa investigar fenômenos contemporâneos. Esse procedimento considera o contexto real do fenômeno estudado, geralmente quando as fronteiras entre o fenômeno não estão bem definidas.

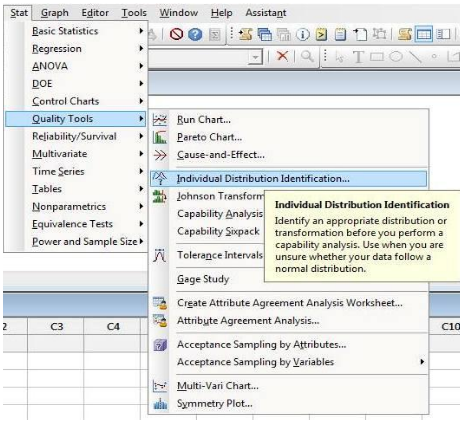
Para analisar o estudo de caso proposto, foi utilizado o software Minitab versão 17.1.0 para gerar os gráficos o obter os resultados numéricos.

4.1. Problema proposto

Deseja-se testar a confiabilidade de um determinado equipamento eletrônico. Foram feitos testes em 18 equipamentos que falharam e as horas das falhas são: 403, 447, 499, 528, 530, 580, 689, 760, 793, 835, 850, 888, 1096, 1178, 1241, 1362, 1467, 1493.

Tomando então os conceitos vistos, foi testada a aplicabilidade dos dados coletados e estes foram tratados estatisticamente para se obter os resultados. Através do *software* obteve-se os gráficos de distribuições e foram feitos os testes de adequação para posteriormente determinar qual delas é a melhor para o conjunto de dados.

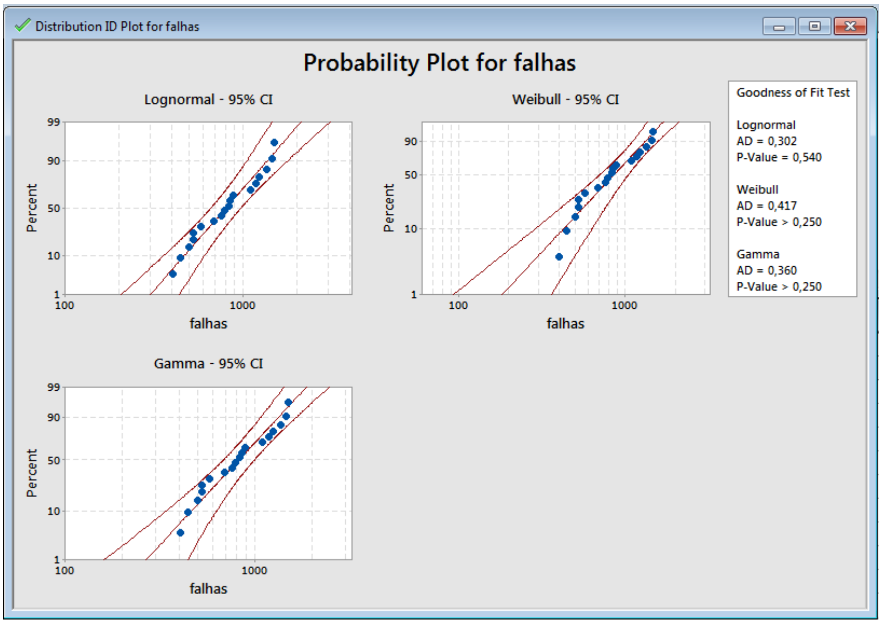
Figura 1: Identificação das distribuições



Fonte: Pesquisa direta, 2015

Os gráficos obtidos estão dispostos a seguir:

Figura 2: Gráfico de probabilidade para falhas



Fonte: Pesquisa direta, 2015

Os gráficos de probabilidade acima permitem o teste de hipóteses, onde se vê a adequação dos dados a determinada distribuição. Para isso, analisa-se o valor *p* correspondente para testar se os dados vêm da distribuição escolhida. Se o valor *p* for inferior ou no máximo igual ao α, que é o nível de significância escolhido, que no caso foi o α =0,05, então rejeita-se a hipótese nula de que os dados seguem tal distribuição. Vale ressaltar que o *software* Minitab nem sempre apresenta um valor *p* para o teste de Anderson-Darling, porque ele não converge matematicamente para alguns casos.

Para a estatística de Anderson-Darling, obtivemos:

Figura 3: Valores da estatística de Anderson-Darling para várias distribuições

Distribution	AD
Normal	0,484
Box-Cox Transformation	0,302
Lognormal	0,302
3-Parameter Lognormal	0,333
Exponential	3,016
2-Parameter Exponential	0,492
Weibull	0,417
3-Parameter Weibull	0,316
Smallest Extreme Value	0,743
Largest Extreme Value	0,372
Gamma	0,360
3-Parameter Gamma	0,339
Logistic	0,487
Loglogistic	0,341
3-Parameter Loglogistic	0,352

Fonte: Pesquisa direta, 2015

Através da análise visual dos gráficos e da análise dos valores da estatística de Anderson-Darling verifica-se que as distribuições Weibull, Lognormal e Gamma apresentam as melhores aproximações para representar os dados. Dentre elas, temos a Lognormal como a distribuição que melhor modela os dados.

Já para a estimação de parâmetros:

Figura 4: Parâmetros obtidos através do gráfico

ML Estimates of Distribution Parameters

Distribution	Location	Shape	Scale	Threshold
Normal*	868,85003		357,64811	
Box-Cox Transformation*	6,68534		0,42017	
Lognormal*	6,68534		0,42017	
3-Parameter Lognormal	6,32362		0,58244	215,96890
Exponential			868,84997	
2-Parameter Exponential			493,29795	375,54763
Weibull		2,72771	980,70122	
3-Parameter Weibull		1,20962	501,95922	394,62036
Smallest Extreme Value	1049,05634		345,77102	
Largest Extreme Value	704,11496		278,21706	
Gamma		6,27201	138,52810	
3-Parameter Gamma		4,54698	164,68979	119,99781
Logistic	843,70421		208,56608	
Loglogistic	6,68567		0,24809	
3-Parameter Loglogistic	6,15855		0,42851	299,76115

* Scale: Adjusted ML estimate

Fonte: Pesquisa direta, 2015

Os parâmetros obtidos serão utilizados na montagem dos modelos de confiabilidade que se encontram a seguir.

4.2. Modelos de confiabilidade

4.2.1. Weibull

Para o modelo de confiabilidade Weibull, é possível calcular os seguintes resultados:

-Função de confiabilidade para Weibull é dada por

$$\boldsymbol{R(t) = e^{\left[-\left(\frac{t}{980,7}\right)^{2,728}\right]}}$$

Isso significa que para um *t* qualquer, como por exemplo *t* = 1000 horas, temos que a confiabilidade para a sobrevivência do equipamento a este tempo é de *R*(1000) = 0,3483 = 34,83% de chances. O que implica que há 34,83% de chances do equipamento sobreviver ao tempo em questão ou de outra maneira, de cada 100 equipamentos, aproximadamente 35 deles ultrapassam esse tempo, em média.

Pode-se observar que esta probabilidade sempre será decrescente com o tempo, já que as probabilidades de perfeita execução decaem conforme ocorra a utilização e o desgaste do equipamento.

-Função de risco ou taxa de falha

Obteve-se a função de risco ou taxa de falha através da seguinte expressão

$$\boldsymbol{h(t) = \frac{2,728}{980,7}\left(\frac{t}{980,7}\right)^{2,728-1} \quad , t \geq 0}$$

. Tomando-se então *t* = 1000 horas, obtêm-se:

$$\boldsymbol{h(1000) = 2,877x10^{-3} falhas}$$

Ou seja, a quantidade de risco associada a uma unidade no tempo *t*=1000 horas é de 2,877x$\mathbf{10^{-3}}$ falhas.

-Tempo médio até a falha

$$MTTF = E(T) = 0 + 980,7\Gamma\left(1 + \frac{1}{2,728}\right) = 872,43 \text{ horas} = 36 \text{ dias}$$

A expectativa de tempo até a falha é de 36 dias. Em equipamentos que podem sofrer reparos, o *MTTF* é definido como o tempo transcorrido até que se ocorra a primeira falha.

-Percentil 100*p%*, t_p

$$P(T \leq t_p) = p \Rightarrow t_p = \gamma + \delta[-ln(1-p)]^{\frac{1}{\beta}}$$

O tempo mediano de vida será:

$$P(T \leq t_{0,5}) = 0,5 \Rightarrow t_{0,5} = 0 + 980,7[-ln(1-0,5)]^{\frac{1}{2,728}} =$$

$$= 857,41 horas \approx 36\ dias$$

O tempo no qual 50% dos equipamentos falham antes dele e 50% depois. Ou seja, metade dos equipamentos falham antes de 36 dias e a outra metade após 36 dias.

4.2.2. Gamma

Para o modelo de confiabilidade Gamma, obteve-se os seguintes resultados:

-Função de confiabilidade para Gamma é dada por

$$R(t) = \int_t^{+\infty} f(u)du = \int_t^{+\infty} \frac{\lambda}{\Gamma(r)}(\lambda u)^{r-1}e^{-\lambda u}du$$

onde os parâmetros *r* e λ são freqüentemente chamados de parâmetros de escala e forma, respectivamente. No entanto, devem-se verificar as definições usadas nos programas computacionais comerciais. Por exemplo, o Minitab define o parâmetro de escala como $\frac{1}{\lambda}$. Temos $\mathbf{r} = 6,272$ e $\frac{1}{\lambda} = 138,53$, logo:

$$R(t) = \int_t^{+\infty} \frac{1}{138,53\Gamma(6,272)} \left(\frac{u}{138,53}\right)^{6,272-1} e^{-\frac{u}{138,53}} du$$

Utilizando o Minitab, calculamos a seguinte integral para o instante *t* = 1000 horas, há 32% de chances do equipamento sobreviver. Ou seja, de cada 100 equipamentos, 32 sobrevivem a 1000 horas.

-O tempo médio até a falha será obtido por

$$MTTF = E(T) = \frac{6,272}{\frac{1}{138,53}} = 6,272 * 138,53 = 868,86\ horas = 36\ dias$$

Conclui-se que a expectativa de vida do equipamento é de 36 dias até a falha.

-Percentil 100*p%*, t_p

O percentil *p%* é o tempo abaixo do qual ocorrem *p%* das falhas. Por exemplo, o percentil 5% é calculado da seguinte maneira

$$P(T \le t_{005}) = 0,05 \Rightarrow 1 - \sum_{k=0}^{6,272-1} \frac{e^{-\frac{t}{138,53}} \left(\frac{t_{0,05}}{138,53}\right)^k}{k!} = 0,05 \Rightarrow 386,9\ horas$$

Ou seja, 5% das falhas ocorrem antes de 386,9 horas.

4.2.3. Lognormal

Para o modelo de confiabilidade Lognormal, temos:

$X = e^W \sim (6,6534; 0,42017^2)$

Onde os parâmetros são obtidos através dos gráficos: μ=6,6534 e σ=0,42017.

-Função de confiabilidade Lognormal, substituindo-se os parâmetros é dada por:

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - 6,6534}{0,42017}\right)$$

Supondo t = 1000 horas, temos a probabilidade de 72,6% de chances do equipamento sobreviver ao tempo estabelecido. Ou seja, a cada 100 equipamentos, aproximadamente 73 sobrevivem.

-O tempo médio de vida do componente será

$$MTTF = E(T) = e^{6{,}6534+\frac{0{,}42017^2}{2}} = 847{,}253\ horas = 36\ dias$$

Ou seja, cada equipamento terá, em média, tempo de execução perfeita de 36 dias.

-O percentil 100*p%*, t_p:

$$P(T \leq t_p) = p \Rightarrow t_p = e^{(z_p 0{,}42017+6{,}6534)}$$

Onde z_p é o 100% da normal padrão. Temos que o tempo mediano de vida será dado por:

$$P(T \leq t_p) = 0{,}50 \Rightarrow t_{0{,}5} = e^{(z_{0{,}5} 0{,}42017+6{,}6534)} = 1036{,}838\ horas = 43\ dias$$

Conclui-se então que 50% dos equipamentos falham antes de 43 dias e 50% passados 43 dias.

5- Conclusão

Neste estudo foram apresentadas as principais ferramentas de confiabilidade com conceitos discutidos. Para auxiliar o entendimento foi proposta análise de um estudo de caso com discussão dos resultados.

Tendo em vista a necessidade de obter maior precisão e confiabilidade na tomada de decisão o presente trabalho se justifica, uma vez que é uma técnica ainda pouco explorada no contexto industrial brasileiro. Partindo do pressuposto que uma tomada de decisão baseada em tentativa e erro pode complicar os negócios de qualquer empresa, é de extrema importância que se dê racionalidade em uma maior acurácia a esse processo de tomada de decisão, evitando-se assim saltos de abstração.

Na engenharia, de um modo em geral, temas ligados ao estudo de confiabilidade podem aparecer nos setores de manutenção, de projeto de produtos, de estudos de garantia, de suprimentos e de custos. Logo, o leque de aplicações é vasto. Por isso a necessidade de estudos que permitam conhecimento e um melhor entendimento dessas técnicas é desejosa tanto no ambiente acadêmico quanto no meio industrial.

O objetivo desse trabalho foi determinar a partir da confiabilidade, com análises quantitativas uma elaboração de garantia do tempo de vida de um equipamento eletrônico. Foi necessária a utilização de um *software* voltado para o cálculo da confiabilidade, no caso o Minitab. Foi feito então o teste de aderência com base na estatística de Anderson-Darling, mostrando que a distribuição que melhor modelava os dados era a distribuição Lognormal, e assim foi possível obter as principais medidas de confiabilidade: tempo médio até a falha, tempo mediano de vida, percentual de falhas, mostrando a eficiência na obtenção dos resultados. Todo esse estudo permite aprimorar projetos, a produção e as vendas do equipamento eletrônico, gerando suporte para futuras melhorias e avaliações

Não se pretendeu com esse estudo esgotar o tema, mas sim apresentar um material de partida para pesquisadores e profissionais que por ventura almejam fazer uso dessa metodologia.

REFERÊNCIAS

BESSEGATO, Lupércio França. http://www.bessegato.com.br/UFMG/bondade.htm. UFMG, 2013.

CARVALHO, Alessandra Lopes. **Análise de Disponibilidade Utilizando Abordagem Nebulosa**. 2008. 123f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Elétrica, Belo Horizonte.

FOGLIATO, Flávio Sanson; José Luís Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Elsevier, Rio de Janeiro, 2009.

FREITAS, Marta Afonso; COLOSIMO, Enrico Antônio. **Confiabilidade: Análise de Tempo de Falha e Testes de Vida Acelerado**. QFCO, Belo Horizonte, 1997.

GNEDENKO, Boris; USHAKOV, Igor. **Probabilistic Reliability Engineering.** Ed. John Wiley & Sons, 1995.

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. Qualitymark, Rio de Janeiro, 2001.

MONTGOMERY, Douglas; RUNGER, George. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 4. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SHAPIRO, Samuel. **How to test normality and other distributional assumptions**. The ASQC Basic References in Quality Control: Statistical Techniques, 1(3):1-78, 1980.

SLACK,, Nigel; CHAMBERS, Stuart; HARLAND, Christine.; HARRISON, Alan; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**, 3. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008.

YIN, Robert. **Applications of Case Study Research**. Sage Publications, 2003.

YIN, Robert. **Case Study Research: Design and Methods**. Sage Publications, 2004.