

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

REINALDO MANABU KISHIMOTO

**ENSAIOS ACELERADOS EM SINALEIROS LED (DIODO EMISSOR
DE LUZ) E INCANDESCENTES DE PAINÉIS COM TENSÃO DE
ALIMENTAÇÃO 220VAC PARA ANÁLISES DE CONFIABILIDADE**

MONOGRAFIA

**CURITIBA
2015**

REINALDO MANABU KISHIMOTO

ENSAIOS ACELERADOS EM SINALEIROS LED (DIODO EMISSOR DE LUZ) E INCANDESCENTES DE PAINÉIS COM TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO 220VAC PARA ANÁLISES EM CONFIABILIDADE

Monografia do Curso de Especialização em Engenharia de Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Confiabilidade pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Emerson Rigoni

Co-orientador: Prof. Esp. Cláudio Spanó

CURITIBA

2015

RESUMO

KISHIMOTO, Reinaldo Manabu. **Ensaio Acelerados em Sinaleiros LED (Diodo Emissor de Luz) e Incandescentes de Painéis com Alimentação 220Vac para Análises de Confiabilidade**. 2015. 69f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) – Departamento de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

Este trabalho consiste na aplicação de ensaios acelerados em sinaleiros de painéis de diâmetro 22mm, que possuem tecnologia LED e incandescente, alimentados diretamente em 220Vac, objetivando comparar a durabilidade e confiabilidade entre ambas, para tomadas de decisões estratégicas de manutenção, investimentos e suprimentos. Dados de falha coletadas foram tratados através de análises de dados de vida quantitativos, bem como determinação de parâmetros de energia de ativação (E_a) e confiabilidade com auxílio do *Software ALTA*[®]. A grande durabilidade das lâmpadas LED e proximidade de valores de vida média indicada pelo fabricante das lâmpadas incandescentes foram comprovadas nos ensaios acelerados.

Palavras chave: Ensaios de Vida Acelerada, Confiabilidade, LED, Lâmpadas Incandescente, Energia de Ativação, Ensaios Acelerados de Vida Quantitativos (QALT).

ABSTRACT

KISHIMOTO, Reinaldo Manabu. **Accelerated Testing in LED (Light Emitting Diode) and Incandescent pilot lights for panels with 220Vac for analyses of Reliability**. 2015. 69f. Monograph (Engineering Reliability) – Department of Electrical, Federal Technological University of Paraná, 2015.

This work involves the application of accelerated tests on pilot lights diameter of 22mm for panels, which feature LED technology and incandescent, supplied directly into 220Vac, aiming to compare the durability and reliability of both, for taking strategic maintenance decisions, investments and supplies. Failure data collected were processed using quantitative life data analysis and determination of activation energy parameters and reliability with ALTA™ Software aid. The durability of LED lamps and proximity average life values indicated by the manufacturer of incandescent lamps were proven in the accelerated tests.

Keywords: Accelerated Life Testing, Reliability, LED, Incandescent Lamps, Activation Energy, Accelerated Life Testing Quantitative (QALT).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema Metodológico da pesquisa.....	13
Figura 2 – Sinaleiros LED	Erro! Indicador não definido.
Figura 3 – Sinaleiros Incandescentes	Erro! Indicador não definido.
Figura 4 – Tipos de base	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 – Sinaleiros Incandescentes usados em painéis de exaustores	Erro! Indicador não definido.
Figura 6 – Sinaleiros LED em painéis de bombas	Erro! Indicador não definido.
Figura 7 – Metodologias da Engenharia da Confiabilidade	21
Figura 8 – Exemplo de Gráfico de contorno	Erro! Indicador não definido.
Figura 9 – Principais Modelos de Distribuições	24
Figura 10 – Tipos de dados.....	26
Figura 11 – Níveis de Estresse	29
Figura 12 – Tipos de Eventos	35
Figura 13 – Tipos de Eventos	36
Figura 14 – Preparação dos Ensaios	40
Figura 15 – Realização do Ensaio.....	41
Figura 16 – Circuito do Ensaio	43
Figura 17 – Montagem Completa	44
Figura 18 – Variac.....	45
Figura 19 – Transformador.....	45
Figura 20 – Sistema de Medição.....	46
Figura 21 – Média da Temperatura nos Ensaios.....	47
Figura 22 – Ensaios Acontecendo.....	48
Figura 23 – Contador	48
Figura 24 – Inserção de dados no Alta.....	51
Figura 25 – Escolha do modelo, aderência, análise e cálculo	52
Figura 26 – Cálculo da Confiabilidade.....	52
Figura 27 – Cálculo da Probabilidade de Falha.....	53
Figura 28 – Vida Média	54
Figura 29 – Taxa de falha	54
Figura 30 – Fator de Aceleração	55
Figura 31 – Vida B10	55

Figura 32 – Relatório Simplificado.....	56
Figura 33 – Gráfico Probabilidade Weibull de Falha em Uso Normal	57
Figura 34 – Gráfico da Confiabilidade	58
Figura 35 – Gráfico Probabilidade Weibull de Falha em Uso Normal	58
Figura 36 – Gráfico FDP	59
Figura 37 – Gráfico Vida vs Estresse	59
Figura 38 – Gráfico Aceleração vs Tensão	60
Figura 39 – Gráfico de Contorno	61
Figura 40 – Gráfico 3D	62
Figura 41 – Gráficos Combinados.....	62
Figura 42 – Vida Média LED	64
Figura 43 – Comparativo de Confiabilidade	65
Figura 44 – Comparativo de Probabilidade de Falhas.....	66
Figura 45 – Comparativo da FDP.....	66
Figura 46 – Comparativo Taxa de Falha	67
Figura 47 – Gráfico de Contorno dos Sinaleiros LED.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características Sinaleiros inc	39
Quadro 2 – Características de Sinaleiros LED	39
Quadro 3 – Condições Meteorológicas de Curitiba e Região	Erro! Indicador não definido.
Quadro 4 – Dados dos Sinaleiros Incandescentes	50
Quadro 5 – Dados dos Sinaleiros LED	50
Quadro 6 – Catálogo lâmpadas	54
Quadro 7 – Valores dos Parâmetros de Confiabilidade	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALT	<i>Accelerated life test</i> (Ensaio de Vida Acelerada)
Beta (β)	Parâmetro de Forma
BA15D	Baioneta diâmetro 15 milímetros
E_a	Energia de ativação (elétron-Volts)
Eta (η)	Parâmetro de Escala
FDP	Função Densidade de Probabilidade
K	Fator de estressamento
LED	Diodo Emissor de Luz
LK	(<i>Likelihood Value</i>) Melhor valor de probabilidade
n	Constante de posição
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
NBR 5462	Confiabilidade e manutenibilidade
NBR 16078	Equipamentos de Medição de Eletricidade – Confiabilidade – Ensaio de Confiabilidade – Vida Acelerada por Temperatura e Umidade
QALT	<i>Accelerated Life Testing Quantitative</i> (Testes Acelerados Quantitativos)
TTF	Time To Failure
Vac (VAC)	Tensão Alternada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA DE PESQUISA	10
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	10
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS	11
1.4	OBJETIVOS	11
1.4.1	Objetivo Geral	11
1.4.2	Objetivos Específicos	12
1.5	JUSTIFICATIVA	12
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	13
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE E	
	SINALEIROS.....	15
2.1	SINALEIROS.....	15
2.2	TIPOS	15
2.2.2	Exemplos de Aplicações dos sinaleiros	17
2.3	CONFIABILIDADE.....	20
2.4	ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE	20
2.5	MODELOS	24
2.6	TIPOS DE DADOS	24
2.7	ENSAIOS ACELERADOS	26
2.7.1	Tipos de Ensaios.....	26
2.7.2	Variáveis de Estresse.....	27
2.7.3	Formas de Aceleração de Testes	27
2.7.4	Formas de Aplicação das Cargas ou Solicitações	29
2.7.5	Relações Estresse-Resposta e Relações Comuns de Vida-Estresseamento	30
2.7.5.1	Relação de Arrhenius.....	30
2.7.5.2	Relação do modelo Eyring	31
2.7.5.3	Relação do modelo potência inversa ou IPL (<i>Inverse Power Law</i>)	32
2.8	METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS	33

2.9	TERMOS IMPORTANTES EM ENSAIOS ACELERADOS	36
3	APLICAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO.....	38
3.1	PREMISSAS	38
3.2	CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES.....	39
3.3	TESTES PRELIMINARES	40
3.4	TESTES EM BANCADA RESIDENCIAL	43
3.4.1	Procedimentos	49
3.4.2	Tratamento de Dados no <i>Software</i> Alta® e Weibull++®	50
3.4.3	Informações dos Sinaleiros Incandescentes.....	51
3.4.4	Informações Gráficas dos Sinaleiros Incandescentes.....	57
3.4.5	Informações dos Sinaleiros LED.....	63
3.4.6	Informações Gráficas dos Sinaleiros LED	64
4	CONCLUSÕES	69
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Nesta seção serão abordados o tema da pesquisa, problema, objetivos, justificativa, procedimento metodológico, pesquisa teórica e estrutura do trabalho.

1.1 TEMA DE PESQUISA

Muito usados em painéis elétricos industriais, prediais ou outros seguimentos, os sinaleiros são elementos indicativos de um estado ou condições de um processo, sejam eles estáticos ou dinâmicos. Pouco valorizados devido ao seu baixo custo de manutenção, são ignorados e passam despercebidos como elementos de estudos de confiabilidade.

Esta pesquisa visa realizar alguns destes estudos focando em sinaleiros LED e incandescentes (modelos Ba15D, em filamento resistivo de níquel cromo) alimentados em 220Vac que compõem relevante parte dos sistemas de painéis elétricos existentes.

Os estudos serão realizados com a aplicação de Ensaio Acelerados de Vida auxiliado por *Softwares*, como ALTA[®] e Weibull++[®] da *ReliaSoft*.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A pesquisa foi realizada nos sistemas sinaleiros dentro de seus invólucros próprios (corpos completos), caracterizando assim aplicação prática e real.

Os modelos com tecnologia LED possuem partes em componentes eletrônicos integrados, mas para este estudo será considerado o sistema sinaleiro completo LED, assim como o incandescente.

Na falta de uma referência específica nacional para os ensaios propostos nesta monografia, nos quesitos de quantificar número de amostras, tempos de

testes, intensidades, seleção de modelos de estressamento entre outros parâmetros, esta pesquisa basear-se-á na norma ABNT NBR 16078.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

Lâmpadas de sinalização incandescentes são produtos que tem vida relativamente curtos, mas mesmo assim demoram meses a apresentar falhas, dificultando assim verificar sua durabilidade ou conferir os dados de vida média descritos nas folhas de dados. E, nas aplicações atuais, os LED's tem ganho espaço, pela sua longevidade em usos normais e decrescentes custos.

Para se realizar um estudo de confiabilidade destes produtos, seriam necessários meses ou até anos. Para minimizar o tempo requerido em ensaios de bancada, encurtar a vida ou aumentar a velocidade de degradação, serão utilizados os Testes de Ensaio Acelerados.

Neste trabalho, os ensaios levaram os componentes a destruição ou fadiga extrema, não permitindo seu reuso normal. Por este motivo, no limitante custo, os testes aplicar-se-ão ao número mínimo ideal sugerido pela NBR 16078.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo Geral

Realizar estudos de confiabilidade em sinaleiros LED e incandescentes com aplicação de Ensaio Acelerados.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar a confiabilidade dos sinaleiros em estudo;
- Comparar dados de falhas entre os modelos de sinaleiros testados;
- Propor estratégias de investimentos, manutenção e suprimentos;
- Analisar dados de ensaios acelerados;
- Determinar a Ea se necessário;
- Reduzir ensaios em bancadas;
- Determinar do modelo de estressamento;
- Determinar o Fator de Estressamento.

1.5 JUSTIFICATIVA

Elementos visuais que indicam o estado de um equipamento são os mais elementares modos de alarmização e diagnósticos. Sem eles, poderiam se colocar em risco operadores, mantenedores, seguranças, entre outros. Pode se ter ainda tomadas de decisões equivocadas e tempos de paradas de máquinas que poderiam ser diagnosticadas rapidamente pelos *status* das sinalizações.

Porém, devido a sua característica aleatória de falhas e vida baseada em inferências médias ou medianas, opta se por manutenções após falha (*Run to Failure*). Uma inspeção periódica é pouco eficiente, trocas preventivas não se justificam por dificuldades em se ter acompanhamentos sistemáticos das falhas. Acompanhamentos normalmente demandam horas de quem coleta e quem analisa dados.

Com a Análise de Dados de Vida obtida com os Ensaio Acelerados, podem se promover estratégias mais eficientes de manutenção, substituições ou troca de tecnologias com melhor performance e, possibilidades de predições baseadas em confiabilidade.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos seguem conforme esquema da Figura 1.

O esquema em questão, não segue a ordem como aparecem os itens, mas servem de base para um seguimento em forma de lista e metodológico das atividades, podendo também existir atividades em paralelo.

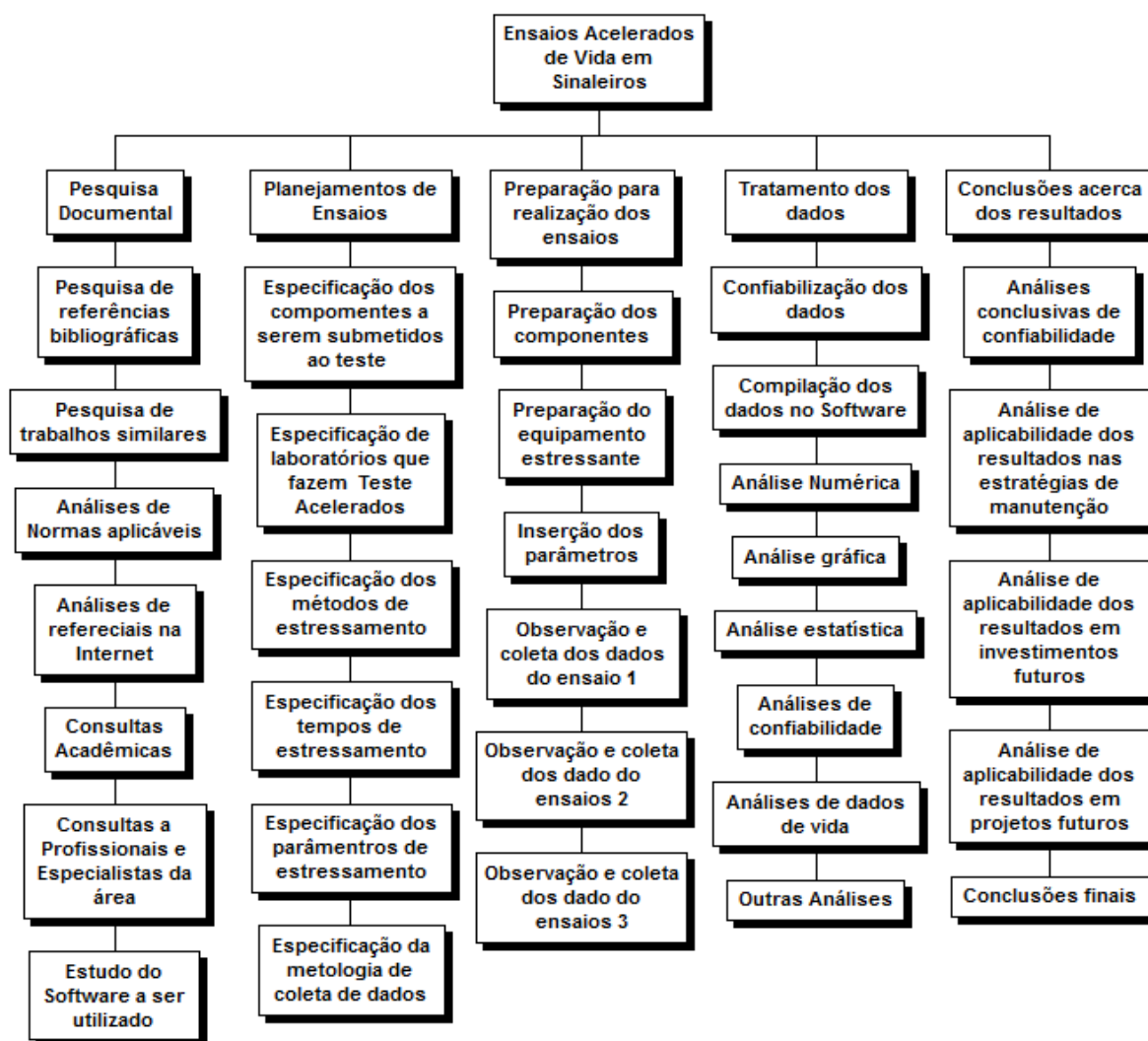


Figura 1 – Esquema Metodológico da pesquisa.

Fonte: do Autor

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho dividir-se-á em capítulos para proporcionar uma visão pragmática acerca da metodologia, visando assim facilitar uma reprodução futura desta pesquisa usando técnicas similares ou melhoradas. Para se chegar aos objetivos gerais e específicos dos item e subitens 1.4 e, justificar o item 1.5, esta monografia será dividida em capítulos que já se iniciaram na introdução até os procedimentos metodológicos, ficando assim posicionados:

- O capítulo 2, caracterizará o sistema sinaleiro de painel, suas aplicações, funções, importância de se estudar sua confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade. Também será descrito um referencial teórico geral da Engenharia de Confiabilidade, Ensaios Acelerados.
- O capítulo 3 será a aplicação do fluxo da figura 1 no que concerne ao planejamento de ensaios, preparação para os ensaios e tratamento de dados e uma explicação superficial das funcionalidades do *software* utilizado para análises dos dados.
- O capítulo 4 apresentará o desenvolvimento do fluxo da figura 1 acerca dos resultados obtidos e suas conclusões.

2 REFERENCIAL TEÓRICO DA ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE E SINALEIROS

Neste capítulo serão descritos conceitos e definições referentes a sinaleiros e engenharia de confiabilidade.

2.1 SINALEIROS

Também conhecidos como lâmpadas piloto ou sinalizadores, tem fundamental importância como elementos de indicação de falhas, eventos ou estado de um equipamento ou processo.

Sua confiabilidade dentro de um sistema de diálogo homem-máquina é vital, pois a má funcionalidade do mesmo pode provocar interpretações erradas, que podem aumentar de tempos de panes, ações com base em leituras incompletas e no pior caso, acidentes.

2.2.1 TIPOS

Existem diversos tamanhos, formatos, tensões de trabalho, cores e funções. As mais comuns para painéis são as 16 mm, 22 mm, 30 mm, entre outras. As tensões mais frequentes são as 24Vcc, 24Vac, 130Vac, 220Vac podendo existir ainda de 48V de tensões alternados e contínuos. Sua fabricação pode ser em tecnologias de metal ou plásticos, com ligação direta na alimentação ou através de fontes incorporadas. As de plásticos, devem possuir características não inflamáveis ou que inibem a propagação da chama por questões de segurança.

O foco desse trabalho será nos modelos de corpo plástico de 22mm, que usam tecnologias LED e incandescentes, conforme figuras 2 e 3, ligadas diretamente à alimentação em 220Vac com base baioneta Ba15D, figura 4. Não é foco deste trabalho medir correntes de cada modelo, temperaturas de trabalhos ou causas das falhas. Será concentrado nos parâmetros de estresse levantadas, testes

iniciais, literaturas, conhecimento de campo, tempos até as falhas, TTF, ou tempos médios até falhas, MTBF.



Figura 2 – Sinais LED
Fonte: (METALTEX, 2015)



Figura 3 – Sinais Incandescentes
Fonte: Do autor

Na figura 4, são mostrados além da base BA15d, outros modelos disponíveis no mercado.

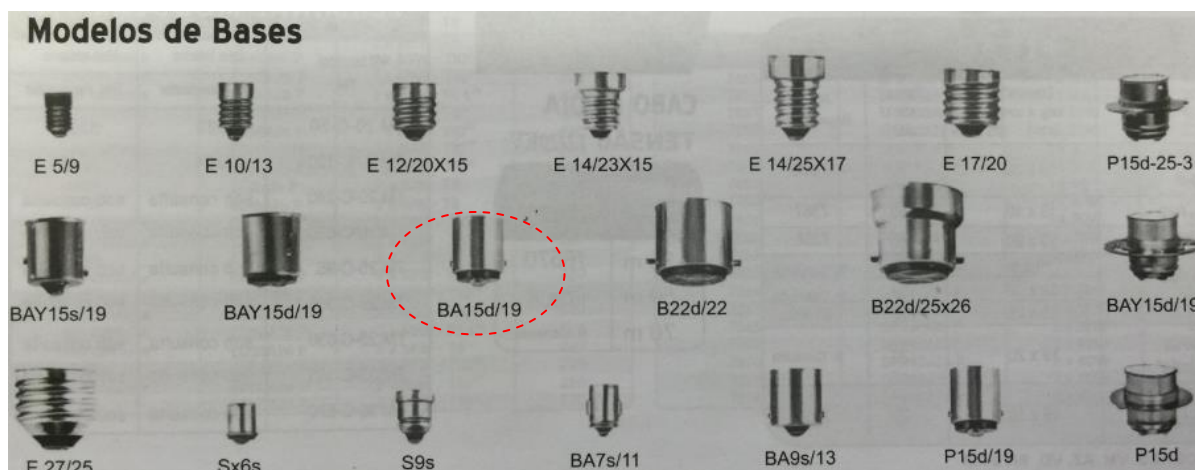


Figura 4 – Tipos de base
Fonte: Catálogo Reymaster

Os sinalizadores LED e incandescentes deste trabalho serão alimentados diretamente na rede em 220Vac, lembrando que as de tecnologia LED possuem uma fonte eletrônica incorporada. Os ensaios deste projeto serão no sinaleiro completo, isto é, lâmpadas, carcaça, circuitos eletrônicos.

2.2.2 Exemplos de Aplicações dos sinaleiros

Conforme figura 5, tem se um exemplo prático de aplicação dos sinaleiros incandescentes em painéis de exaustores. O uso na ligação direta a tensão 220Vac se deve a redução de custos, não usando transformadores de redução.



Figura 5 – Sinaleiros Incandescentes usados em painéis de exaustores
Fonte: Do autor

Na figura 6, tem se exemplificada aplicação de sinaleiros LED em painéis de bombas.



Figura 6 – Sinaleiros LED em painéis de bombas
Fonte: Do autor

Nos dois casos de aplicação, é notável que a informação visual é de extrema importância ao profissional para monitorar as funcionalidades, alarmes, sequências ou acessos para intervenções.

Em condições normais de uso contínuo, tais sinaleiros chegam a vida média de 2000 horas de funcionamento para os incandescentes e maiores que 30000 horas para os de tecnologia LED. Para se fazer análise de confiabilidade com esses valores de vida média, seriam necessários meses ou até anos.

Dado ao exposto, é necessário o uso de outras técnicas para realizar esses estudos e, aqui entra, a justificativa do uso dos Ensaios ou Testes Acelerados de Vida como ferramenta dos estudos propostos neste trabalho.

2.3 CONFIABILIDADE

A norma ABNT NBR 5462, define a confiabilidade como: “A capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo”. Na apostila de treinamento de Análise de Custo do Ciclo de Vida, de Mazzei (2012, p. 114), a confiabilidade é citada como a probabilidade de um item ou sistema, de desempenhar sua função pretendida, sem falhar, por determinado intervalo de tempo “t” observado e sob condições determinadas de uso ou operações conhecidas.

2.4 ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE

Segundo, Mazzei (2012, p. 115), a Engenharia de Confiabilidade é “o ramo da engenharia voltado para o estudo da confiabilidade de sistemas de forma geral, durante seu ciclo de vida”. Também é conhecida como o ramo da engenharia que estuda a taxa de falhas ao longo do tempo, definição esta, dada pelo mesmo autor. Disciplinas como a Física, Mecânica, Estatística e Matemática suportam seu estudo. Se divide de forma qualitativa e quantitativa que envolvem algumas metodologias apresentadas na figura 7. O foco deste trabalho é o QALT, Ensaio de Vida Acelerados Quantitativos.

Para o avanço no entendimento da engenharia de confiabilidade, é necessário ainda incorporar outras definições, conforme Lafraia (2001, p. 11 e 12):

- Item – Qualquer parte, subsistema, sistema ou equipamento que possa ser considerado individualmente e ensaiado separadamente,
- Componente – É um item que pode falhar somente uma vez;
- Falha – Perda de uma função;
- Vida Útil – Intervalo de tempo durante o qual um item desempenha sua função com a taxa de falha especificada, ou até a ocorrência de uma falha não reparável;
- Aderência – Verificação da melhor distribuição que se ajusta aos dados.

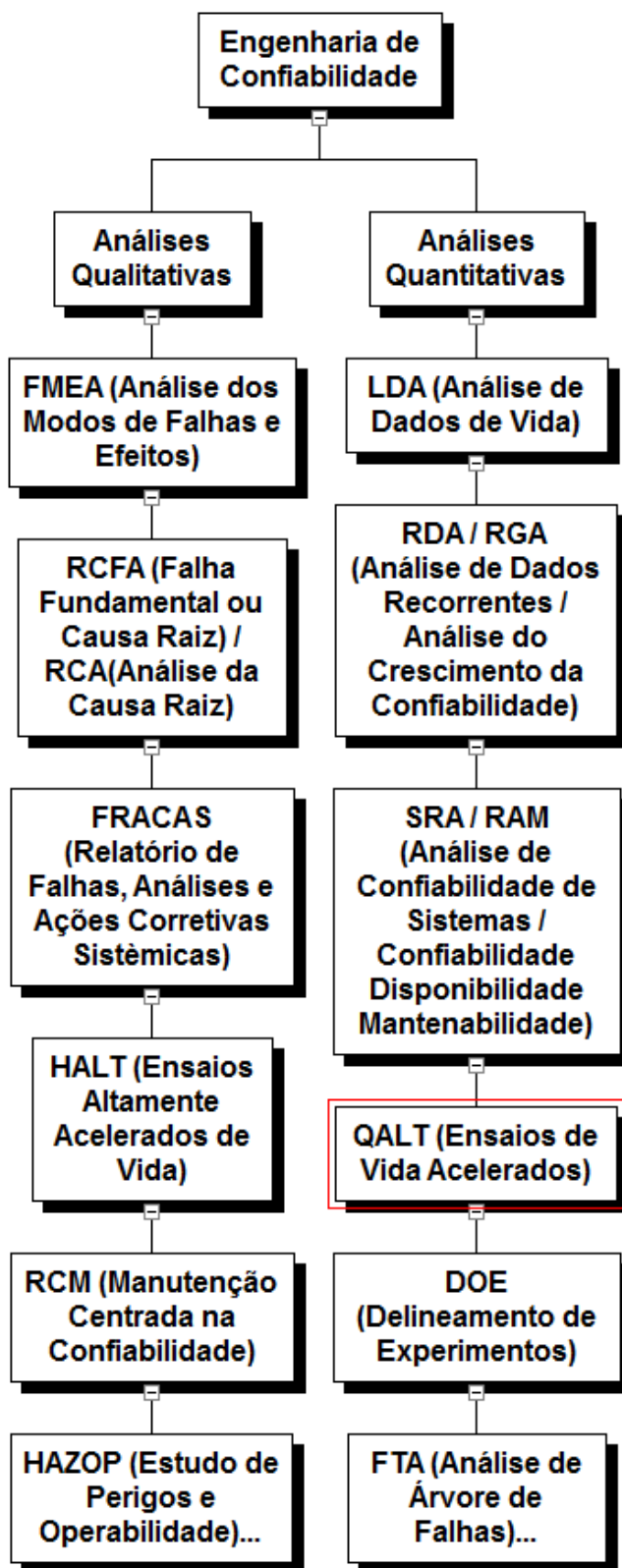


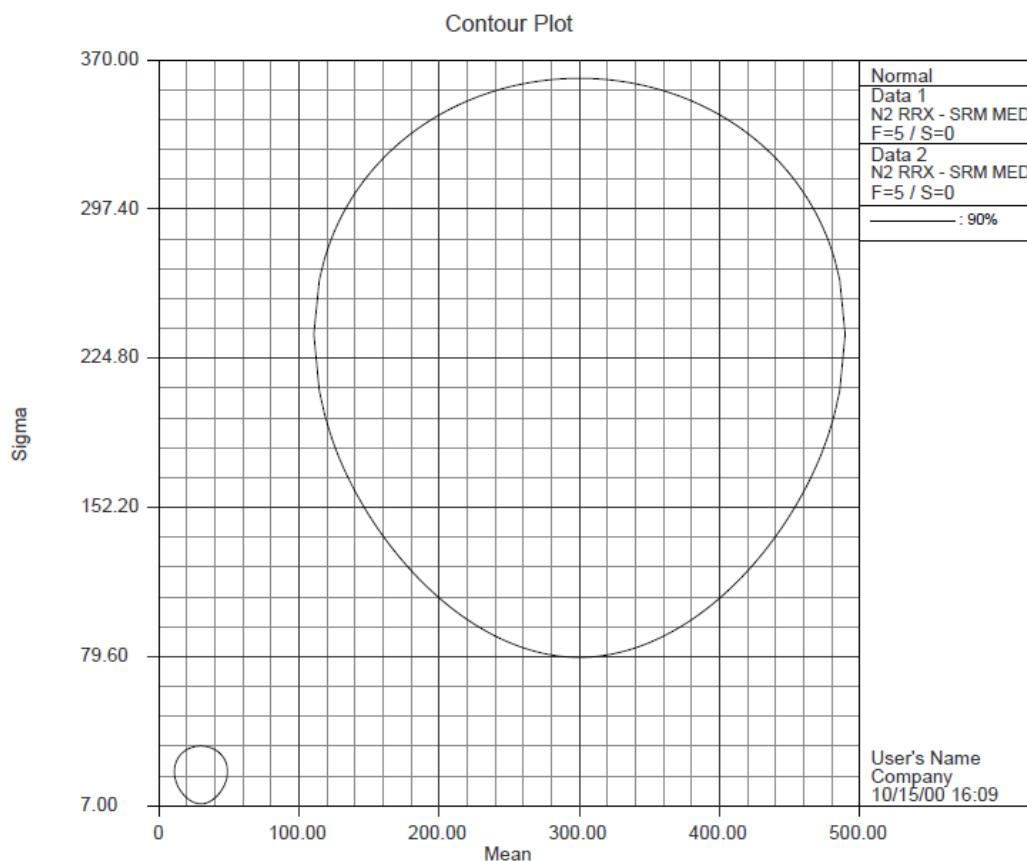
Figura 7 – Metodologias da Engenharia da Confiabilidade
 Fonte: Adaptado de Mazzei (2012, p. 116)

Outros conceitos muito importantes são:

- Item reparável – Item que pode ser restaurado à sua capacidade funcional após sofrer uma falha;
- Item não reparável – Conforme Assis (2010, p. 27) é “quando um item sofre uma falha, é substituído por outro igual e descartado”;
- MTTF (*mean time to failure*) – Ou Tempo Médio Até Falha que é usado em itens não reparáveis;
- MTBF (*mean time between failures*) – Tempo Médio Entre Falhas, utilizado em itens reparáveis;
- MTTR (*mean time to repair*) – Tempo Médio Para Reparo;
- B10 – Ou percentil 10%, é o tempo em que se espera que 10% dos produtos ou itens postos em funcionamento falhem (FREITAS; COLOSIMO, 1997, p. 7);
- Tempo Mediano ou B50 – É o percentil 50% ou tempo no qual se espera que 50% dos produtos tenham falhado (FREITAS; COLOSIMO, 1997, p. 7);
- Extrapolação – Na NBR 16078, 2012, página 2 consta:

“Qualifica um valor com base em valores observados ou estimados para uma ou um conjunto de condições, com a finalidade de aplicá-lo a outras condições, como tempo, manutenção e condições ambientais”.
- Estimativa – Pela NBR 16078, 2012, página 2:

“Qualifica um valor obtido com o propósito de atribuir como resultado da operação feita a partir dos valores observados em uma amostra, valores numéricos aos parâmetros da distribuição escolhida como modelo estatístico da população da qual esta amostra foi retirada”.
- Taxa de Falha – É a probabilidade de um item falhar em um intervalo de tempo (FREITAS; COLOSIMO, 1997, p. 74);
- Gráfico de contorno – Método gráfico, figura 8, para verificação da diferença entre dois produtos (PALLEROSI, 2007, p. 103);



$\mu_1=300.00, \sigma_1=181.67, \rho=1.00$
 $\mu_2=30.00, \sigma_2=18.17, \rho=1.00$

Figura 8 – Exemplo de Gráfico de contorno
Fonte: Apostila Análise de dados de Vidas Reliasoft, p. 246

- Intervalo de Confiança – São valores de intervalos reais para um parâmetro desconhecido, segundo apostila de Treinamento em análises de dados de Vida da *ReliaSoft* (2008, p. 220);
- Limites de Confiança – São as fronteiras que delimitam os intervalos de confiança, conforme, apostila de Treinamento em análises de dados de vida da *ReliaSoft* (2008, p. 220);
- Condições de estresse – Conjunto de condições a que o item é exposto durante o ensaio acelerado de estresse (NBR16078, 2012, p. 5).
- Distribuições de Probabilidades – São modelos matemáticos que correlacionam uma certa variável a sua probabilidade de ocorrer.
- Eta – Parâmetro de escala – Está ligada vida característica e em condições normais de uso de um componente, falhas norteiam esse ponto.

2.5 MODELOS

No manual de treinamento *Análise de Dados de Vida Reliasoft* (p. 52) consta que:

Os modelos fornecem a estimativa da taxa de falha do item em função do tempo, eles estimam a probabilidade de falha do item para uma dada idade, ou para um dado intervalo de tempo.

Os modelos são equações ou funções matemáticas contínuas pelas quais podemos realizar interpolações e extrapolações e assim representar o comportamento de uma população.

Estes modelos são baseados em distribuições estatísticas e as mais utilizadas são conhecidas como distribuições de vida (figura 9).

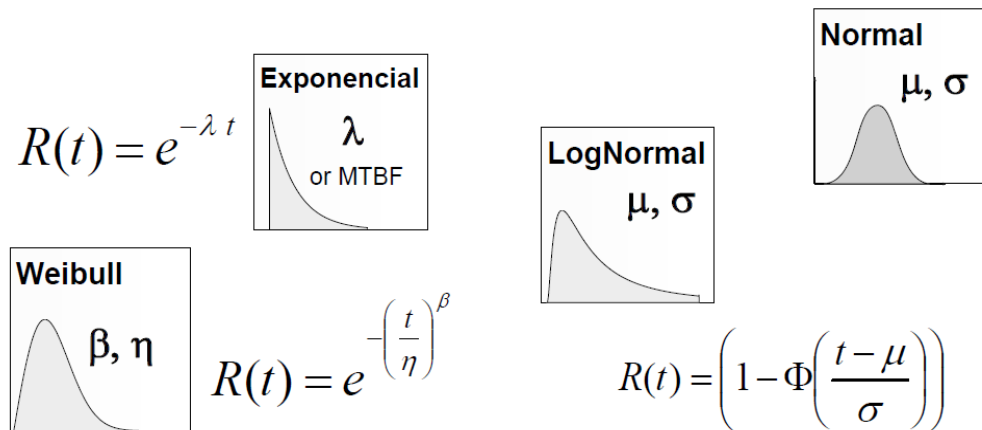


Figura 9 – Principais Modelos de Distribuições

Fonte: Apostila *Análise de dados de Vidas Reliasoft*, p. 53

2.6 TIPOS DE DADOS

Dados são elementos que podem representar ou transmitir informações, segundo Branco (2007, p. 33). Dentre os dados em estudo neste trabalho, os mais importantes são as medidas até a ocorrência e os eventos, falhas no caso. A falha e

a escala de medida constituem componentes básicos a serem definidos num estudo de confiabilidade (FREITAS; COLOSIMO, 1997, p. 69).

Na confiabilidade dados podem afetar na estimação do resultado, por este motivo devem se apurados corretamente. Elas podem ser diferenciadas da seguinte forma:

Dados completos – todos os itens falharam no teste;

Dados censurados – é a presença de informações incompletas ou parciais, pois testes não foram até todos os itens falharem por motivos diversos. Os dados censurados são significativos nas análises, pois fornecem informações do tempo de vida do item, e, sua omissão tornaria os cálculos estatísticos viciados com dados apenas não censurados. Dados censurados podem ser do tipo I, quando o teste é terminado após um período programado, antes de todos itens terem falhado. Podem ser do tipo II, quando uma quantidade de itens programados falharam e o teste é interrompido. Um outro tipo de censura é o aleatório, quando um item falha de modo não esperado pelo teste e é retirado do ensaio. Apesar da tratativa estatística ser geralmente a mesma para os tipos de censuras descritos, o uso de uma ou outra traz vantagens quando não temos informações de durabilidade, para o caso do tipo II, ou quando é necessário um planejamento de duração de testes, para o tipo I (FREITAS & COLOSIMO, 1997, p. 69).

Ainda sobre dados censurados, existem os chamados à direita ou suspensões, que são os mesmos do tipo I. Os censurados à esquerda são os mesmos do tipo II, mas são raros na prática. Há ainda os chamados de censura por intervalo, quando um item em falha é descoberto dentro um período de intervalo de inspeção, este também é chamado “dado de leitura”, (Ryan, 2009, p. 261).

Segue a figura 10 dos tipos de dados:

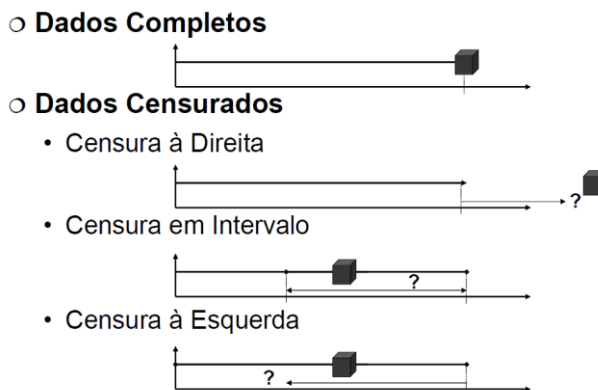


Figura 10 – Tipos de dados

Fonte: Apostila Análise de dados de Vidas Reliasoft, p. 74

2.7 ENSAIOS ACELERADOS

Neste capítulo serão citados os principais termos e definições que envolvem ensaios acelerados.

No dicionário de Branco (2006, p. 42), o ensaio acelerado é descrito como:

Ensaio no qual o nível de solicitações aplicadas no item ultrapassa o nível das condições de referência, para reduzir a duração necessária, visando observar as respostas do item à estas solicitações ou acentuar estas respostas dentro de um período de testes desejado. É usada quando não se pode aguardar o tempo necessário, dentro de condições de uso normais.

Os subcapítulos seguintes discorrem sobre tipos, variáveis, formas, relações matemáticas e grandezas da engenharia de manutenção.

2.7.1 Tipos de Ensaio

Existem dois tipos de ensaios acelerados de vida:

- **Qualitativos** – Estressam itens com propósito único de se chegar a informações sobre a falha ou entender o modo de falha. Também são designados como testes de tortura, elefante, HALT, entre outros. São realizadas em pequenas amostras com altos níveis de estressamento. A desvantagem desse método é que não podemos usar dados para previsões de confiabilidade, dado a sua característica subjetiva. Também

não podemos garantir que as falhas encontradas nesse método venham a ocorrer em uso normal. A grande vantagem é que podemos revelar falhas ocultas e corrigir antes que cheguem aos clientes finais (Apostila de treinamento de Ensaios Acelerados de Vida – *ReliaSoft*).

- Quantitativos – Com a obtenção de dados falhas nos ensaios acelerados, este tipo de teste possibilita fornecer informações de confiabilidade, sendo esta a sua grande vantagem. A desvantagem é a necessidade de ambientes controlados que simulem sua condição de uso. São chamados também de QALT conforme figura 7 (Apostila de treinamento de Ensaios Acelerados de Vida – *ReliaSoft* – Spannó, 2014).

Outras formas de classificar Testes Acelerados são:

- Testes de Vida Acelerados – São aqueles onde a resposta de interesse é o tempo até a ocorrência da falha com o objetivo de estimar o MTTR ou MTBF, a função confiabilidade, entre outros (Freitas & Colosimo, 1997, p. 152).
- Testes de Degradação Acelerados – Nestes testes, o interesse é estudar alguma medida de performance do item, obtida ao longo do tempo e depois utilizar estas informações para estimar a distribuição do tempo de vida do produto (FREITAS; COLOSIMO, 1997, p. 152).

2.7.2 Variáveis de Estresse

É a grandeza (Variável) utilizada no estressamento cujo valor é diferente do uso normal.

2.7.3 Formas de Aceleração de Testes

Para obtermos dados em um QALT e quantificar a vida características de itens em menor tempo, é necessário submetê-los à estresses como:

- Aceleração por Taxa de Uso (URA – *Usage Rate Acceleration*) – também chamados de Aceleração por Alta Taxa de Uso ou Aceleração pelo Uso Contínuo, utilizam a variável “uso” como forma de estressamento, mas de forma contínua, redução de tempo de descanso ou aumento de velocidade, caracterizando assim uso em condições diferentes dos normais;
- Acelerações por Altos Níveis de Estresse – chamados também de Aceleração dos Tempos Até Falha (TAF), encurtam o tempo de vida dos itens através de altos níveis das variáveis de estressamento, como por exemplo a temperatura, tensão, corrente, vibração, umidade. Também, não muito comum, podemos usar baixos níveis de estresse ao invés dos altos.

Segundo a Apostila de treinamento de Ensaio Acelerados de Vida (*RELIASOFT – SPANNÓ, 2014*), temos as seguintes ponderações:

- “Os níveis de estressamento devem ser altos o suficiente para que se observe, no tempo desejado, um número suficiente de falhas”;
- “Quanto maior a distância entre os níveis de estressamento e as condições normais de uso, menor a certeza na extrapolação”;
- “A escolha correta do estímulo é crucial e deve se ter o conhecimento sobre o produto, conhecimento físico da falha e experimentações para identificar os estímulos apropriados” (figura 11);
- “Dados quantificados devem possuir uma unidade de medida que possa ser correlacionada com as condições de uso normal, devem ter precisão e quantidade suficiente”.
- “Quantificar tempo necessário para observação da ocorrência das falhas”;
- “O ambiente em que o item é submetido deve ser possível de ser quantificado”;
- “Deve-se conhecer e quantificar as condições de normais de uso”.

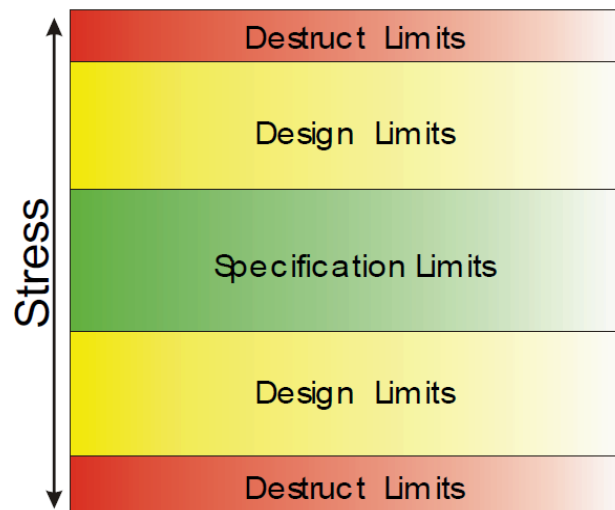


Figura 11 – Níveis de Estresse
Fonte: Apostila de treinamento de Ensaios Acelerados de Vida (ReliaSoft – Spannó, 2014)

2.7.4 Formas de Aplicação das Cargas ou Solicitações

As cargas de estresse podem ser aplicadas de várias maneiras (FREITAS; COLOSIMO, 1997):

- Constante – fixando um nível de estresse, este é aplicado até o final do teste e tem a vantagem da simplicidade;
- Escada – também conhecido como “*step stress*”, cada unidade é testada com um nível de estresse por um período, aumentando aos poucos em degraus até a falha da unidade e tem a vantagem de se obter uma falha rapidamente;
- Progressivo – ao invés de patamares, usam níveis progressivos, tem a mesma vantagem da aplicação em escada;
- Cíclico – é a aplicação em níveis baixos e altos ciclicamente ou com certa frequência;
- Aleatório – para itens que já possuem em seu funcionamento em condições normais uma característica aleatória, são utilizadas distribuições com níveis acelerados próximas a realidade, por exemplo pontes rolantes.

2.7.5 Relações Estresse-Resposta e Relações Comuns de Vida-Estresse

Freitas & Colosimo (1997, p. 161) descrevem que, “podemos dizer que o tempo até falha (resposta) está relacionado com o estresse (variável de estresse) segundo modelo”:

$$\text{Tempo} = f(\text{estresse}) + \text{erro} \quad (1)$$

E, continuando a descrição de Freitas & Colosimo (1997, p. 161), “a forma funcional de “f” deve ser tal que expresse esta tendência decrescente. Esta “função” é o que chamamos de relação estresse-resposta, e poderia ter qualquer forma”, por exemplo:

- $\text{Tempo} = (\text{estresse})^{-2}$,
- $\text{Tempo} = (\text{estresse})^{-3}$,
- Ou até tempo = $\exp(-\text{estresse})$

São utilizados na prática para relações estresse-resposta, modelos físicos ou químicos. As mais citadas nas literaturas e utilizadas nas aplicações de QALT são:

- Arrhenius
- Eyring
- *Inverse Power Law* (Potência Inversa)

2.7.5.1 Relação de Arrhenius

É a relação mais usada quando a temperatura é o fator de aceleração. Sua formulação é dada conforme Norma NBR16078 (2012 p. 40):

$$r = r_0 \cdot e^{-\frac{E_a}{k.T}} \quad (2)$$

Sendo:

- r - é a velocidade da reação
- r_0 - constante não térmica;
- E_a - energia de ativação (eV);
- k - constante de Boltzman's (8,617385E-5 eV/K);
- T - a temperatura absoluta em Kelvin (K).

Equivalente ao efeito da temperatura sobre uma reação, num ensaio acelerado (QALT), a energia de ativação pode nos informar o efeito da temperatura sobre dados de vida.

Continuando na transcrição da NBR16078:

O produto da taxa de reação e o tempo para que possa ocorrer durante a sua temperatura é constante a gama de aplicabilidade:
 $Rt = \text{constante}$, com t = tempo de falha de um dado mecanismo, ou

$$T = A e^{E_a/KT} \quad (3)$$

Se t_u = tempo de falha de um produto em condições de temperatura normais T_u , e T_s = tempo de falha de um produto em estresse de temperatura T , o fator de aceleração (AF) Arrhenius e dados por:

$$AF = t_u/t_s = e^{(E_a/k)(1/T_u - 1/T_s)} \quad (4)$$

O modelo de aceleração de temperatura Arrhenius pode ser aplicado para a difusão em estado sólido, reações químicas, corrosão, semicondutores, vida da bateria etc. O valor de E_a depende do mecanismo de falha e dos materiais envolvidos e tipicamente varia de 0,3 eV a 1,5 eV. E_a é determinada empiricamente”.

As relações são oriundas de efeitos físicos e químicos com variação no tempo e intensidade de aplicação.

2.7.5.2 Relação do modelo Eyring

A forma geral do modelo Eyring, segundo NBR 16078 (2012, p. 41) é:

$$t = A(1/S)Be^{E_a/kT} \quad (5)$$

Onde:

t - é o tempo de falha de um determinado mecanismo;

E_a/kT - é o expoente Arrhenius e contém o prazo de temperatura;

S - É a tensão aplicada.

O modelo de Eyring tem sido desenvolvido para diversos tipos de estresse, podendo o estresse ser:

Carga mecânica (como modelo de fluência da ruptura de Weertman);

A umidade (como modelo de corrosão de Peck) ou

A densidade de corrente (como modelo de eletromigração de Black).

O modelo mais comum é o modelo de Peck.

O modelo de Peck para temperatura e umidade para microcircuitos eletrônicos é:

$$t = A(RH)^{-n}e^{E_a/kT} \quad (6)$$

Onde:

t – é o momento de falha de um determinado mecanismo;

A – é uma constante;

RH – e a porcentagem de umidade relativa;

n – é uma constante;

E_a/kT – é o expoente Arrhenius.

O fator de aceleração do modelo Peck é:

$$AF = (RH_u/RH_s)^{-n}e^{(E_a/k)(1/T_u-1/T_s)} \quad (7)$$

E_a e n são determinados empiricamente e dependem do mecanismo de falha, bem como os materiais envolvidos. n é na faixa de 1 a 12 e E_a é na faixa de 0,3eV a 1,5 eV. Normalmente, n é igual a 3 e E_a é igual 0,9eV”.

2.7.5.3 Relação do modelo potência inversa ou IPL (*Inverse Power Law*)

Esta relação é utilizada para modelar o tempo de falha em função de qualquer tipo de variável de estresse. Como exemplos temos as lâmpadas incandescentes, fadiga de metais, isolantes, dielétricos, entre outros (FREITAS; COLOSIMO,1997, p. 168):

Sua formulação para variáveis de estresse V positivas é:

$$T = A/V^\omega \quad (8)$$

Onde: T é o tempo de falha, A e ω são parâmetros característicos do item, unidade, geometria, fabricação, método de teste, entre outros.

Na forma linearizada, temos:

$$\ln(T) = \beta_0 + \beta_1[-\ln(V)] = \beta_0 + \beta_1 x \quad (9)$$

Onde: $\beta_0 = \ln(A)$ e $\beta_1 = \omega$.

A partir da expressão (9), é encontrado o Fator de Aceleração entre o tempo de falha T_0 no nível de estresse V_0 (que pode ser a condição de projeto) e o tempo de falha T no nível de estresse de interesse V :

$$A_c = T_0/T = (V/V_0)^\omega \quad (10)$$

Também podemos encontrar uma forma geral para a relação estresse-respostas que dada por:

$$\ln(T) = \beta_0 + \beta_1 x \quad (11)$$

Se $x = (1/\delta)$, onde δ é a temperatura absoluta, temos a relação de Arrhenius, e, se $x = -\ln(V)$, onde V é uma variável de estresse qualquer, temos a relação de potência inversa.

Modelos matemáticos de vida são aplicados em cada de relação de estresse. As mais usadas são: Weibull, Log-Normal e Exponencial.

Em resumo, em estressamentos constantes podemos usar o Arrhenius para estresse de temperatura. Eyring para temperatura, umidade e salinidade. Potência Inversa para potências, vibração, tensão mecânica, tensão elétrica, rotação, pressão, cargas, fadiga, entre outros. Também a combinação de relações pode ser outra solução.

2.8 METODOLOGIA BÁSICA DE ENSAIOS

Para Pallerosi (2007, p. 1), ensaios para se chegar à Confiabilidade de itens em função de variáveis, seguem fases de desenvolvimento como: objetivos a serem

atingidos, especificações de requisitos para se chegar a qualificação ou conformidade, especificação das condições dos ensaios, metodologia a ser adotada, locais dos ensaios, tratamento dos dados e emissão de relatórios. Com o resultado dos ensaios podem ser definidos parâmetros de Confiabilidade, especificações de produto, e confirmações de hipóteses e informações em ensaios terceirizados. Os ensaios se dividem em Conformidade da Confiabilidade ou Determinação na Confiabilidade. Os ensaios visam melhorias nas condições de uso no decorrer de um certo tempo, ou sua durabilidade, não substituem ensaios voltados a qualidade. Extrapolações de resultados devem ser aplicadas com parcimônia, pois não se pode esperar perfeita correlação de resultados de ensaios em laboratórios com os de uso em campo, principalmente com relação a ambientes de uso diferenciados e similaridade de produtos.

Ainda em seu livro, Pallerosi (2007, p. 2), salienta que exigências e especificações de um item dependem da harmonização de vários fatores, principalmente:

- Histórico do item, de preferência de um banco de dados;
- Consequências de uma Confiabilidade (ou Manutenibilidade) insuficientes, principalmente quanto à segurança e economia;
- Tempo necessário para os ensaios, principalmente novos produtos;
- Análise da possibilidade de obtenção de garantia da Confiabilidade (ou Manutenibilidade) por outros meios, e não apenas por ensaio de Confiabilidade (ou Manutenibilidade);
- Disponibilidade de amostras representativas do produto em quantidade e custos razoáveis;
- Custos dos Ensaios, que podem inviabilizar os objetivos fixados.

Continuando Pallerosi (2007, p. 3), podemos classificar os ensaios quando:

- Ao local (lugar) da prova;
- Ao tipo de evento (falha, suspensão, interrupção, recolocação);
- As regras de substituição dos itens que falharam (ou foram recolocados);
- As regras de conclusão (término) dos ensaios.

Seguem as figuras 12 e 13 que são resumos dos critérios de ensaios e tipos de eventos esperados ou podem ocorrer durante um ensaio:

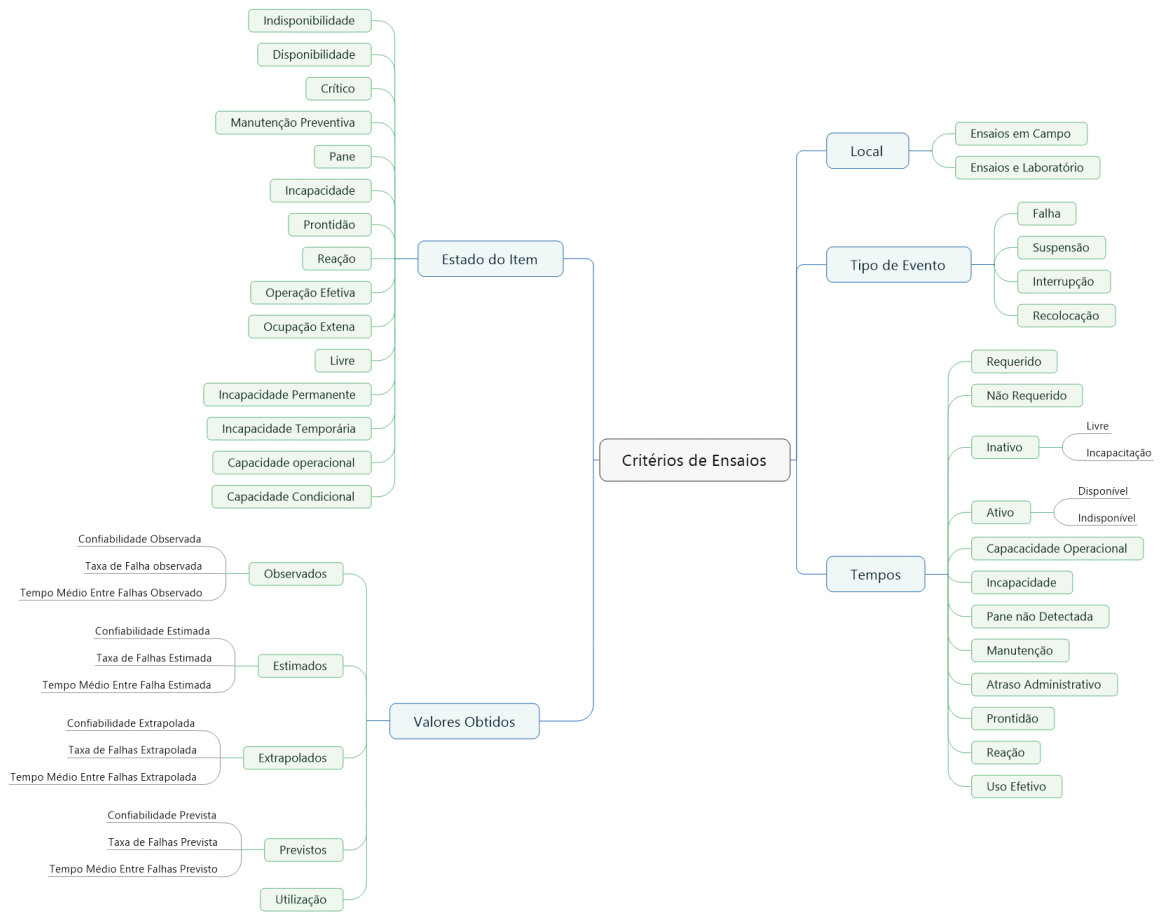


Figura 11 – Tipos de Eventos

Fonte: Adaptado de Metodologia Básica de Ensaios de Carlos Amadeu Pallerosi



Figura 12 – Tipos de Eventos

Fonte: Adaptado de Metodologia Básica de Ensaios de Carlos Amadeu Pallerosi

Para realização de ensaios acelerados, devem ser considerados vários fatores como local, ambiente, tempo de aplicação, tipo de ensaio, intensidade, tratamento de dados, entre outros e verificar a correlação com os resultados ou eventos desejados e obtidos.

2.9 TERMOS IMPORTANTES EM ENSAIOS ACELERADOS

- Energia de ativação (E_a) - representa a energia que a molécula deve ter para participar da reação. Em outras palavras, a energia de ativação mensura o efeito que a temperatura teve na reação (Apostila de Treinamento de Ensaios Acelerados de Vida, *ReliaSoft* – Spannó, 2014).

- Fator de aceleração (A_F) - Segundo Apostila de Treinamento de Ensaio Acelerados de Vida, ReliaSoft – Spanó, 2014, é utilizado para escrever a taxa de vida característica sob as condições do teste acelerado.
- Riscos Proporcionais – De mesma autoria, é a formulação para estimar o efeito das diferentes covariações que influenciam os tempos até falha de um sistema.

3 APLICAÇÃO DO REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PREMISSAS

- Sinaleiros incandescentes serão chamados de “inc”;
- Sinaleiros LED serão chamados de “LED”;
- Sinaleiros inc são todos da mesma marca e importadas;
- Sinaleiros LED são todos da mesma marca e nacionais;
- Medições de corrente e temperatura dos componentes durante os testes não foram focos deste trabalho;
- Dados são dos respectivos catálogos dos fabricantes;
- Modo de falha esperado: apagar quando alimentado;
- Os sinaleiros foram adquiridos em lojas diferentes;
- Número amostras e tempos de testes foram definidos tomando como base, questões de disponibilidade, custos e restrições práticas;
- A fonte de dados e fabricantes serão preservados, pois este trabalho, pelas características experimentais, não é fonte de referência oficial para tomada de decisões;
- A utilização do *software* se dará no decorrer desta fase do trabalho;

3.2 CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES

As características dos componentes seguem abaixo:

Inc – Tensão de trabalho 220Vac – Expectativa de vida 1000hs – 2W

Operation	Mechanical	Max. 30 Operations /minute
	Electrical	Max. 30 Operations /minute
Insulationresistance		Min. 100 MΩ (AT DC 500 V)
Dielectricstrength		1500 V AC 50/60 Hz for minute
Vibration	MalfunctorResistance	10 - 55 Hz double amplitude width 3mm
Shock	MechanicalDurability	Min.500 m/s ²
Shock	MalfunctorResistance	Min. 100 m/s ¹³¹
Life	Mechanical	Min. 0.5 millions operations, 1000hour (PILOT LAMP)
	Electrical	Min. 0.1 millions operations, 1000hour (PILOT LAMP)
Ambienttemperature		-25 °C ~ +40 °C
Ambienthumidity		45 ~ 85%R.H.
Storagetemperature		-40 °C ~ + 70°C

Quadro 1 – Características Sinaleiros inc

Fonte – Adaptado pelo Autor

LED – Tensão de trabalho 220V – Expectativa de vida >30000hs – 2W

Categoria de sobretensão	III
Umidade	45% ~ 85%
Temperatura	-5°C
	+40°C
Corrente operacional Ie	<20 mA
Vida útil	>30000 h
Brilho	> 60 cd/cm ²

Quadro 2 – Características de Sinaleiros LED

Fonte – Adaptado pelo Autor

As especificações foram extraídas das respectivas folhas de dados.

3.3 TESTES PRELIMINARES

Pela falta de referências para início dos testes, foram utilizadas informações de notas das aulas de Ensaio Acelerado ministrados em novembro de 2014 na UTFPR e testes para identificar parâmetros de estressamento conforme segue:

- a) Testes em laboratório de 10 amostras de cada modelo de sinaleiro. Fotos da preparação seguem nas figura 14.



Figura 13 – Preparação dos Ensaio
Fonte: Do autor

Os ensaios foram realizados com os seguintes equipamentos:

- Estufa para burn-in (20°C a 150°C) - Marca ESB
- Transformador WISE LTDA. Modelo: 11-11532-009
- Variador de Tensão (*Variac*) – Modelo: TDCG2
- Multímetro digital ICEL MD-6130

Fotos dos testes seguem na figura 15:

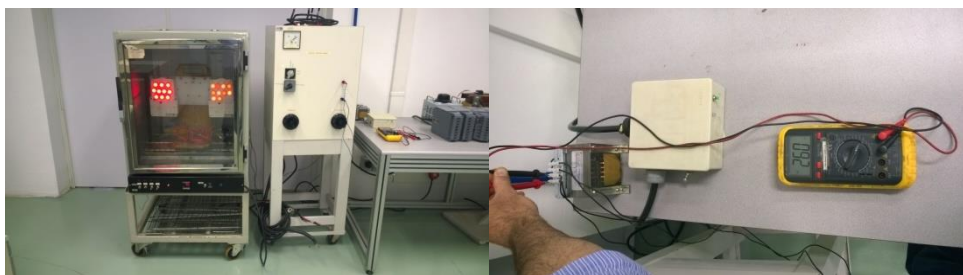


Figura 14 – Realização do Ensaio

Fonte: Do autor

b) Cronologia dos testes conforme norma NBR 16078 realizada e seus resultados:

Ensaio 1, início em 22/09/2015 até 29/09/2015

- Quantidade de amostras: 10 (LED) e 10 (inc)
- Temperatura: 65°C
- Tensão: 240Vac
- Tempo: >100 horas
- Resultado: Não houve falhas

Ensaio 2, início em 30/09/2015 até 06/10/2015

- Quantidade de amostras: 10 (LED) e 10 (inc) (Mesmas amostras)
- Temperatura: 75°C
- Tensão: 250Vac
- Tempo: >100 horas
- Resultado: Não houve falhas

Ensaio 3, início em 07/10/2015 até 14/10/2015

- Quantidade de amostras: 10 (LED) e 10 (inc) (Mesmas amostras)
- Temperatura: 85°C
- Tensão: 280Vac
- Tempo: >100 horas

- Resultado: Não houve falhas

Como não houve falhas até o ensaio 3, optou se pela continuação:

Reinício do ensaio (mesmas amostras): 19/10/15 as 14:30hs

- Término do ensaio: 05/11/2015 a 17:00 hs
- Parâmetros: 85°C com 318Vac
- Falhas: 1 (dia 20/10/15 as 9:00) - inc
- Falhas: 1 (dia 27/10/15 as 8:00) –LED

Através da cronologia e seus dados, foram adotadas as seguintes conclusões e decisões para a próxima fase dos ensaios:

- A temperatura, nesse caso, não foi considerada um parâmetro de estressamento adequado, pois antes da falha esperada, os componentes ou outras partes do circuito se danificaram;
- O tempo até primeira falha foi considerado muito longo, para esse caso;
- O parâmetro tensão foi adotado como meio de estressamento, iniciando os novos os ensaios com tensões acima de 320Vac;
- O teste pode ser feito em bancada simulando condições de uso contínuo de ambiente residencial ou industrial, isto é, temperatura entre 15 a 30°C e umidade relativa entre 80 a 85%, quadro 3;
- Devido ao alto custo de testes em laboratório e dos componentes, a opção será pelo teste em ambiente residencial, usando os mesmos instrumentos;
- O ensaio será com um estresse, no caso a tensão, o que exige, pelas notas de aulas, no mínimo dois níveis diferentes;
- Deve se obter o fator de aceleração com a tensão, pois o meio estressante não é mais a temperatura;
- Espera se obter dados censurados tipo I;
- Para facilitar as observações de tempo de falha, será inserido um contador de pulsos de 4 em 4 minutos, portando podem ocorrer leituras com erros de 4 minutos para mais e para menos;
- Por motivos de segurança contra possíveis incêndios, as observações serão realizadas por duas pessoas em horários onde haja presença de pelo menos uma pessoa e assim anotar o tempo de ocorrência do evento esperado.

Dados obtidos nos testes preliminares foram fatores decisivos na opção de realizar testes em um ambiente residencial. Também os custos foram minimizados, pois testes em estufas industriais calibrados, exigem alto custo por hora de funcionamento.

3.4 TESTES EM BANCADA RESIDENCIAL

O teste foi realizado conforme circuito da figura 16, também, seguem fotos da montagem nas figuras 17, 18, 19 e 20:

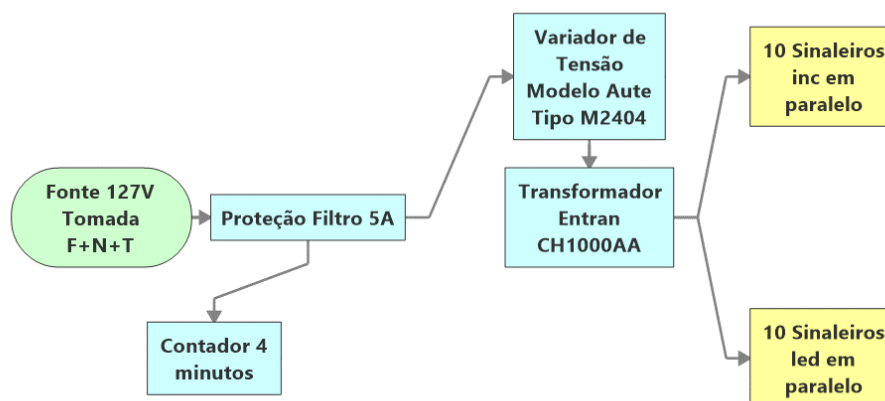


Figura 15 – Circuito do Ensaio
Fonte: Do autor

Na figura 17, na parte superior estão as caixas com as lâmpadas separadas, 10 LED e 10 incandescentes alimentados pelo transformador. No meio estão o variador de tensão e o contador. Na parte inferior, perto do piso o transformador e a régua de alimentação. Também foram usados alicate amperímetro, voltímetro e termômetro.



Figura 16 – Montagem Completa
Fonte: Do autor

O variador de tensão da figura 18 foi necessário devido a tensão residencial ser de 127Vac. Com isso foi possível movimentar cursor do variador de 0 a 127Vac.

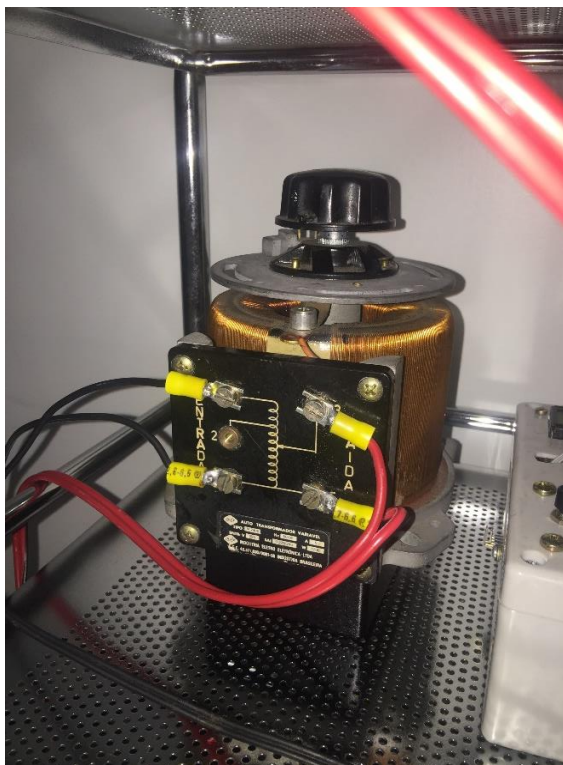


Figura 17 – Variac
Fonte: Do autor

Com entrada configurada de 0 a 127Vac e saída de 0 a 500Vac, o transformador da figura 19, forneceu tensão de estresse necessária ao ensaio.



Figura 18 – Transformador
Fonte: Do autor

Para ajuste de variador e monitorar a saída do transformador, foi utilizado um multímetro, conforme figura 20.

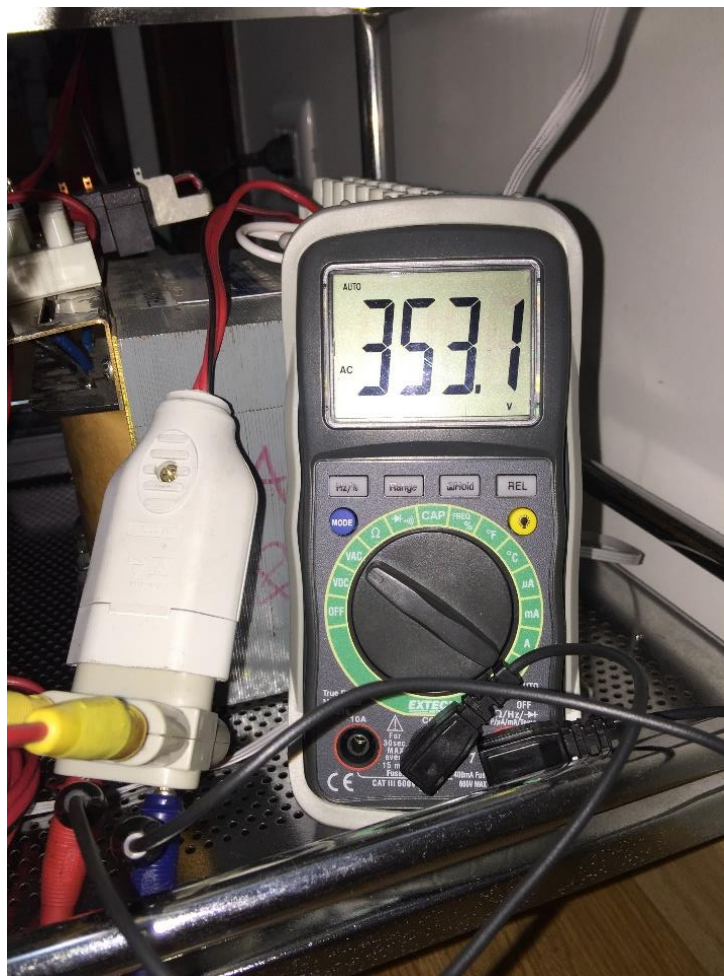


Figura 19 – Sistema de Medição
Fonte: Do autor

Na figura 21 tem se a temperatura, que se manteve nessa média durante todos os ensaios (setembro, outubro e novembro de 2015), conforme o quadro 3:



Figura 20 – Média da Temperatura nos Ensaios
Fonte: Do autor

Média mensal de dados meteorológicos para a região de Curitiba na Brasil São Jose dos Pinhais - Almirante Tamandaré - Piraquara - Fazenda Rio Grande - Araucária - Colombo						
	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Temperatura da água	Horas de Sol	Probabilidade de Chuva	Umidade
Janeiro	17°C 63°F	26°C 79°F	-	6	48%	85%
Fevereiro	18°C 64°F	27°C 81°F	-	6	38%	84%
Março	17°C 63°F	27°C 81°F	-	6	31%	83%
Abril	15°C 59°F	25°C 77°F	-	6	31%	83%
Maiο	11°C 52°F	21°C 70°F	-	7	27%	82%
Junho	10°C 50°F	21°C 70°F	-	7	19%	82%
Julho	9°C 48°F	20°C 68°F	-	7	24%	81%
Agosto	10°C 50°F	22°C 72°F	-	6	19%	80%
Setembro	12°C 54°F	21°C 70°F	-	6	25%	81%
Outubro	14°C 57°F	24°C 75°F	-	5	33%	82%
Novembro	15°C 59°F	24°C 75°F	-	5	38%	83%
Dezembro	16°C 61°F	26°C 79°F	-	5	42%	84%

Quadro 3 – Condições Meteorológicas de Curitiba e Região
Fonte: (TEMPERATUREWAETHER, 2015)

Na figura 22, segue uma das imagens dos testes:



Figura 21 – Ensaio Acontecendo
Fonte: Do autor

Na figura 23, segue imagem do contador, que na função original era para liga e desliga, mas o contato foi curto circuitado para que o teste também simulasse uso contínuo por um determinado período:

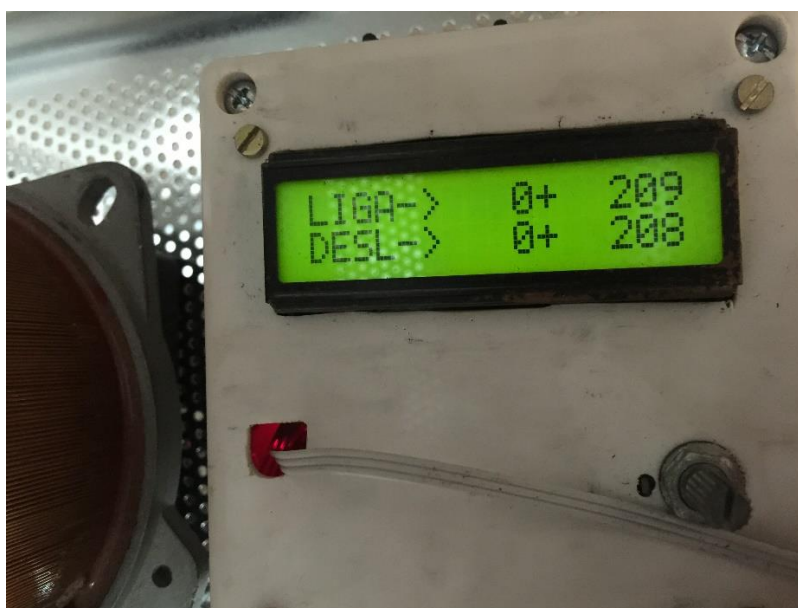


Figura 22 – Contador
Fonte: Do autor

3.4.1 Procedimentos

Foram realizados os seguintes procedimentos, com troca de todo sinaleiro em cada teste:

- Ajuste do nível de tensão do 1º lote de inc em 350Vac;
- Realização dos testes;
- Monitoramento até 1650 minutos;
- Anotação dos tempos de falha concomitante;
- Ajuste do nível de tensão do 2º lote de inc em 380Vac;
- Realização dos testes;
- Monitoramento até 1650 minutos;
- Anotação dos tempos de falha concomitante;
- Ajuste do nível de tensão do 1º lote de LED em 400Vac;
- Realização dos testes;
- Monitoramento até 10000 minutos;
- Anotação dos tempos de falha concomitante;
- Ajuste do nível de tensão do 2º lote de LED em 450Vac;
- Realização dos testes;
- Monitoramento até 10000 minutos;
- Anotação dos tempos de falha concomitante;
- Ajuste do nível de tensão do 3º lote de LED em 520Vac;
- Realização dos testes;
- Monitoramento até 10000 minutos;
- Anotação dos tempos de falha concomitante;

Com as anotações, foram compilados os dados se que seguem nos quadros

4 e 5:

Tensão	TTF	Condição	Tensão	TTF	Condição
350	324	F	380	4	F
350	596	F	380	16	F
350	624	F	380	56	F
350	716	F	380	216	F
350	836	F	380	336	F
350	1016	F	380	452	F
350	1196	F	380	496	F
350	1612	F	380	552	F
350	1652	S	380	568	F
350	1652	S	380	1652	S

Quadro 4 – Dados dos Sinaleiros Incandescentes

Fonte: Do Autor

Tensão	TTF	Condição	Tensão	TTF	Condição	Tensão	TTF	Condição
400	1488	F	450	680	F	520	200	F
400	2952	F	450	1108	F	520	672	F
400	3980	F	450	1272	F	520	1192	F
400	10000	S	450	10000	S	520	1380	F
400	10000	S	450	10000	S	520	2664	F
400	10000	S	450	10000	S	520	10000	S
400	10000	S	450	10000	S	520	10000	S
400	10000	S	450	10000	S	520	10000	S
400	10000	S	450	10000	S	520	10000	S
400	10000	S	450	10000	S	520	10000	S

Quadro 5 – Dados dos Sinaleiros LED

Fonte: Do Autor

As lâmpadas incandescentes apresentaram poucos dados censurados, ao contrário das LED, denotando que estes últimos têm realmente grande durabilidade, mesmo alimentados com o dobro de tensão.

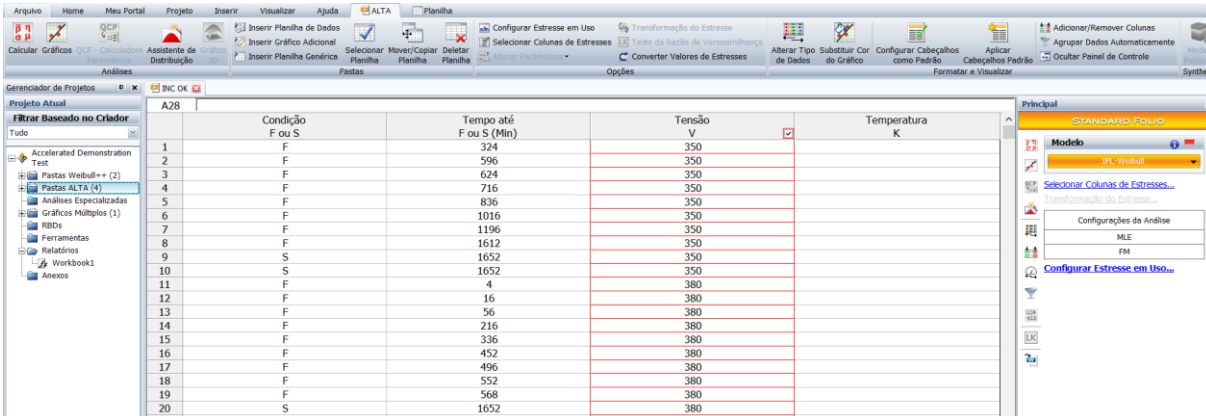
3.4.2 Tratamento de Dados no *Software* Alta® e Weibull++®

Para auxiliar nas análises quantitativas dos dados, foram utilizados o *software* Alta® e Weibull++®, na versão 9.0.17, cujo representante no é a *Reliasoft*. O objetivo das análises de dados de ensaios acelerados é produzir informações de

tempo até falha, e, com essa informação estimar a previsões de vida dos sinaleiros em condições normais de uso, sua confiabilidade, probabilidade de falhas, vida média, estimar tempos de garantia, entre outros.

3.4.3 Informações dos Sinaleiros Incandescentes

Logo após aberto o *software*, deve se adicionar uma planilha padrão Alta nas Pastas Alta, configura se para que dados de tempo até falha contem conjuntos de dados suspensos ou censurados da direita. Os dados dos inc foram inseridos conforme figura 24:



	Condição Fou S	Tempo até Fou S (Min)	Tensão V	Temperatura K
1	F	324	350	
2	F	596	350	
3	F	624	350	
4	F	716	350	
5	F	836	350	
6	F	1016	350	
7	F	1196	350	
8	F	1612	350	
9	S	1652	350	
10	S	1652	350	
11	F	4	380	
12	F	16	380	
13	F	56	380	
14	F	216	380	
15	F	336	380	
16	F	452	380	
17	F	496	380	
18	F	552	380	
19	F	568	380	
20	S	1652	380	

Figura 23 – Inserção de dados no Alta
Fonte: Do autor

Feita a inserção de dados, seleciona se o modelo de distribuição, no caso *IPL-Weibull*, ou seja, Lei da Potência Inversa. Realizam se os testes de aderência, implementam se as análises realizadas e executam se os cálculos. Na figura 25 estão os passos na sequência descrita.

Na sequência executam se os cálculos paramétricos (QCP - *QuickCalculation PAD*). Todos os cálculos foram realizados em minutos e o valor da tensão de estresse em uso normal medido foi 235Vac em média, isto é, 7% de variação da rede.

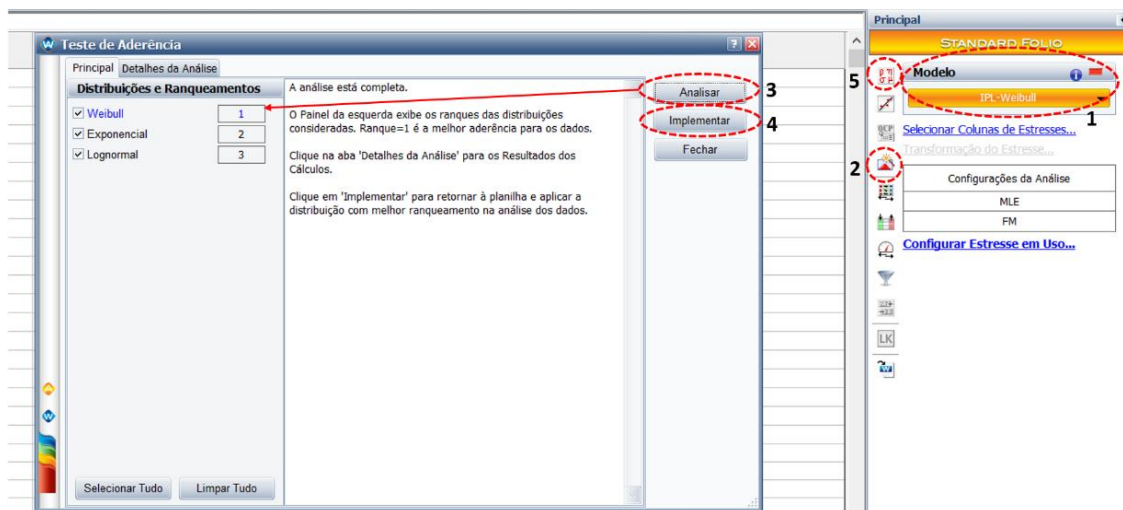


Figura 24– Escolha do modelo, aderência, análise e cálculo
Fonte: Do autor

Na figura 26, o *Software* calculou a Confiabilidade para 60000 minutos, ou, 1000 horas de expectativa de vida da folha de dados do fabricante:

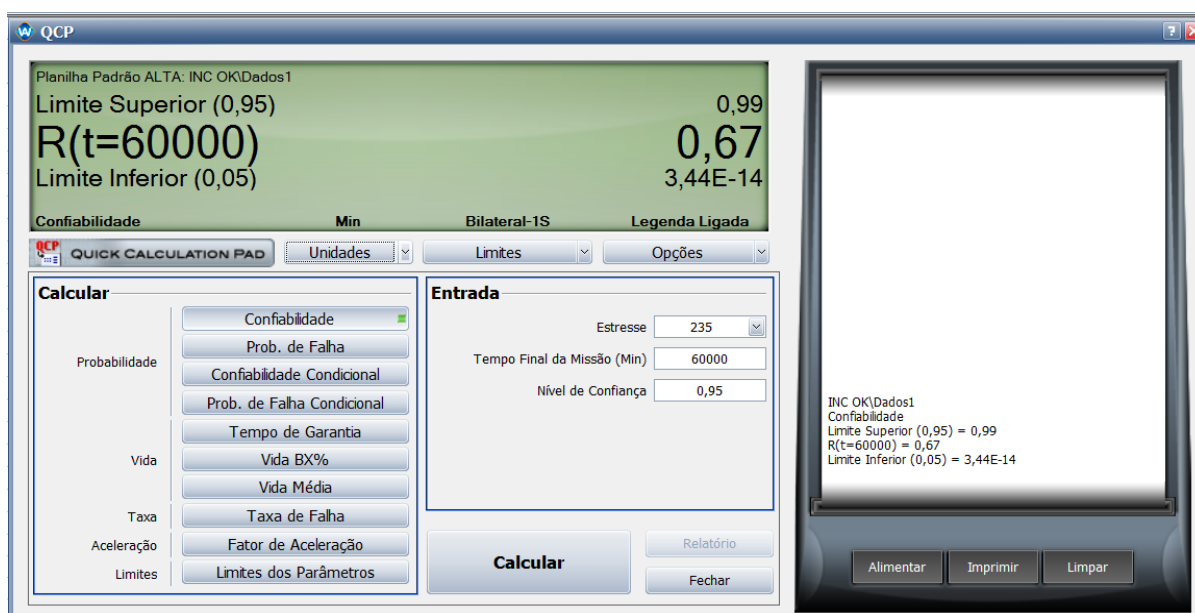


Figura 25 – Cálculo da Confiabilidade
Fonte: Do autor

A baixa confiabilidade se deve ao estresse em uso, pois efetuando se o mesmo cálculo para tensão de estresse em uso para 220Vac, o valor da confiabilidade passa de 67% para 83%. Portanto, a confiabilidade pode variar conforme varia a tensão da rede. Esta é uma grande vantagem dos ensaios

acelerados, podemos simular várias tensões de uso, variar tempos de uso ou os limites de confiança.

Na figura 27 a probabilidade de falha foi calculada com os mesmos parâmetros da confiabilidade, cujo valor foi 33%, verifica se aqui também que podemos simular cenários diferentes:

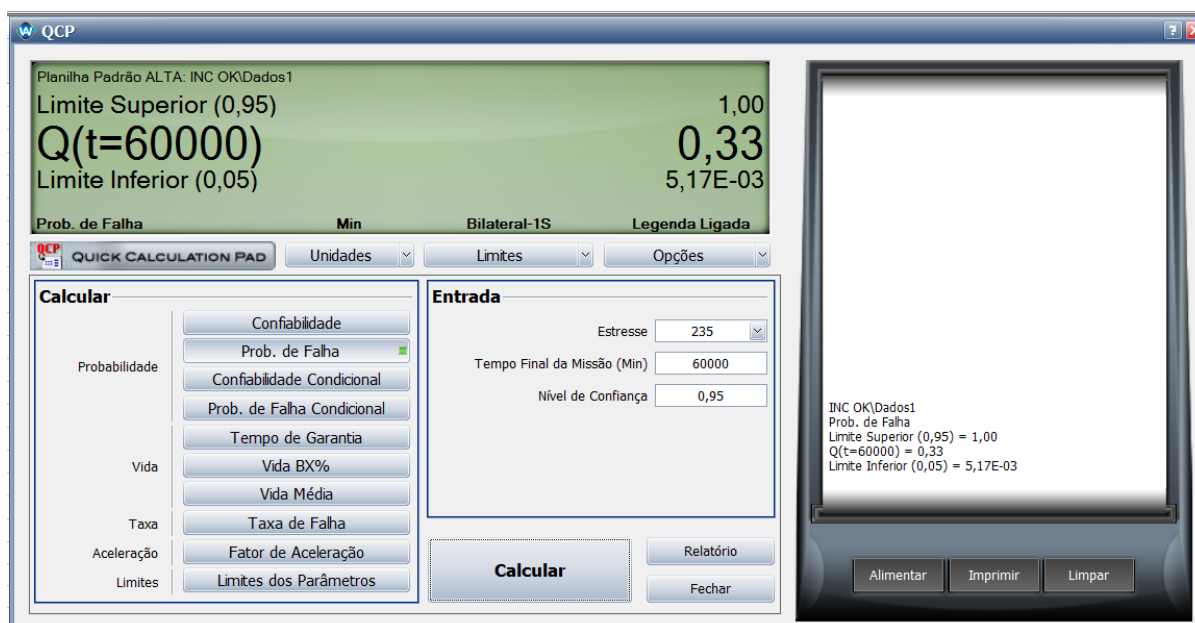


Figura 27 – Cálculo da Probabilidade de Falha
Fonte: Do autor

Outro parâmetro muito importante calculado pelo *software* é o da vida média (figura 28). A expectativa de vida na folha de dados consta 1000 horas, mas nesse caso do ensaio foi 2600 horas (156115 minutos). A diferença deve se a outros fatores que não foram considerados neste ensaio, como liga e desliga, picos de tensão nas partidas, quedas de tensão ocasionados por acionamentos, vibrações nas proximidades, entre outros. Mas considerando outros catálogos de lâmpadas, podemos verificar certa aproximação nos dados. No exemplo do quadro 6, para tensões alternadas a expectativa de vida é de 2000 horas usando a mesma base (Ba15D) e potência de 5W, que é muito superior ao usado nos ensaios. Podemos considerar que o dado fornecido de 1000 horas é conservador.

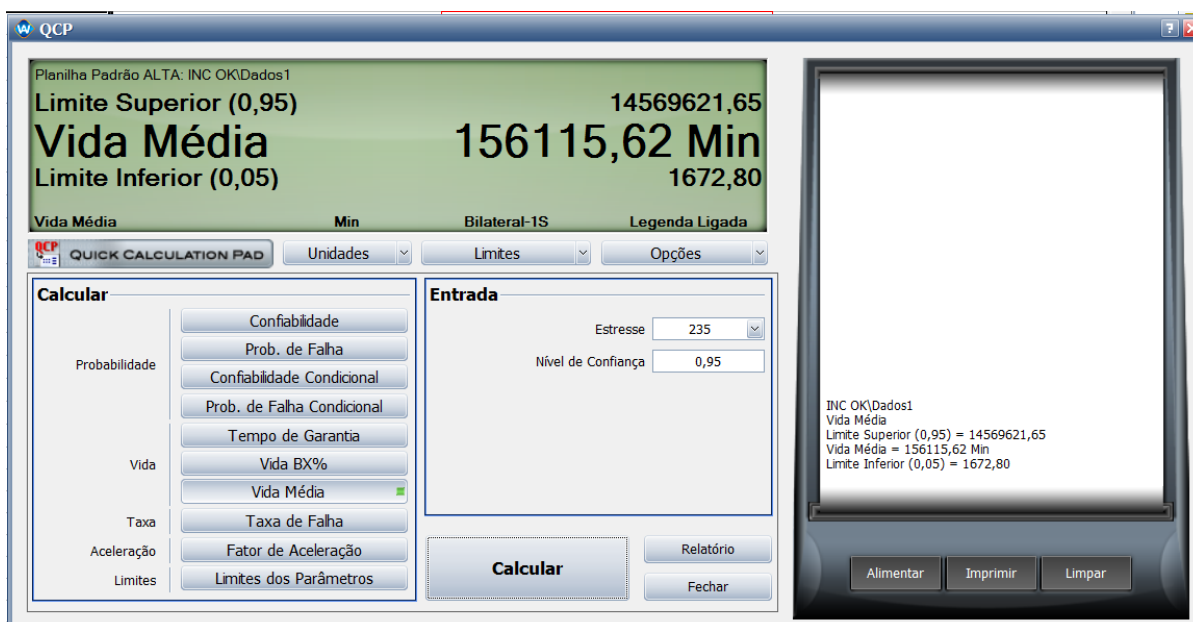


Figura 28 – Vida Média

Fonte: Do autor

T-1645-B15DR-230V5W	230V	5.0W	10 Lumens	2,000 Hrs AC 1,000 Hrs DC	230V 5W
---------------------	------	------	-----------	------------------------------	---------

Quadro 6 – Catálogo lâmpadas

Fonte: (SOLITRONICS ENGENNERING LTDA., 2013)

Na figura 29 é calculado e exibido a taxa de falha, que é a quantidade de falhas estimadas, simuladas por unidade de tempo.

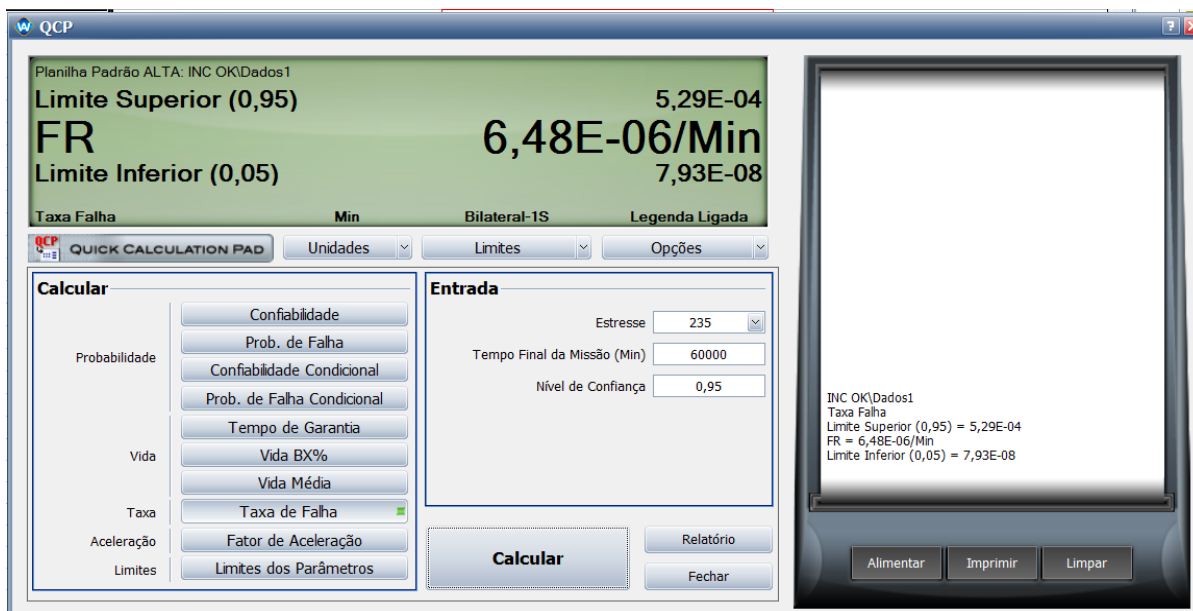


Figura 29 – Taxa de falha

Fonte: Do autor

A figura 30 remete ao parâmetro de fator de aceleração. Podemos considerar no caso deste ensaio que um minuto de teste em modo acelerado equivale 322,6 minutos em uso normal.

Planilha Padrão ALTA: INC OK\Dados1

Limite Superior (0,95) 44310,20

AF 322,61

Limite Inferior (0,05) 2,35

Fator de Aceleração Min Bilateral-1S Legenda Ligada

QUICK CALCULATION PAD Unidades Limites Opções

Calcular

Probabilidade: Confabilidade, Prob. de Falha, Confabilidade Condicional, Prob. de Falha Condicional

Vida: Tempo de Garantia, Vida BX%, Vida Média

Taxa: Taxa de Falha

Aceleração: Fator de Aceleração

Limites: Limites dos Parâmetros

Entrada

Estresse 235

Estresse Acelerado 380

Nível de Confiança 0,95

Calcular Relatório

Alimentar Imprimir Limpar

INC OK\Dados1
Fator de Aceleração
Limite Superior (0,95) = 44310,20
AF = 322,61
Limite Inferior (0,05) = 2,35

Figura 30 - Fator de Aceleração
Fonte: Do autor

Outro dado fornecido pela aplicação é a vida B10 (figura 31). Em 252 horas, espera-se que 10% dos itens em funcionamento tenham falhado.

Planilha Padrão ALTA: INC OK\Dados1

Limite Superior (0,95) 1295028,35

Vida B10% 15123,08 Min

Limite Inferior (0,05) 176,60

Vida BX% Min Bilateral-1S Legenda Ligada

QUICK CALCULATION PAD Unidades Limites Opções

Calcular

Probabilidade: Confabilidade, Prob. de Falha, Confabilidade Condicional, Prob. de Falha Condicional

Vida: Tempo de Garantia, Vida BX%, Vida Média

Taxa: Taxa de Falha

Aceleração: Fator de Aceleração

Limites: Limites dos Parâmetros

Entrada

Estresse 235

Vida BX% em 10

Nível de Confiança 0,95

Calcular Relatório

Alimentar Imprimir Limpar

INC OK\Dados1
Vida BX%
Limite Superior (0,95) = 1295028,35
Vida B10% = 15123,08 Min
Limite Inferior (0,05) = 176,60

Figura 31 – Vida B10
Fonte: Do autor

A aplicação também fornece características e constantes do ensaio acelerado conforme figura 32:

	A	B	C	D
1	Relatório de Resultados Simplificado			
2	Tipo de Relatório	Resultados ALTA		
3	Informações do Usuário			
4	Usuário	Reinaldo Kishimoto		
5	Empresa	Kishimoto		
6	Data	28/12/2015		
7	Parâmetros			
8	Modelo:	Lei da Potência Inversa (IPL)		
9	Distribuição:	Weibull		
10	Análises:	MLE		
11	Beta	0,969641		
12	K (Min)	2,06E-34		
13	n	12,019572		
14	Eta (Min)	154014,4687		
15	Valor da LK	-129,835277		
16	F \ S	17 \ 3		
17	LOCAL VAR/COV MATRIX			
18		VarBeta=0,039891	CovBetaK=3,082155E-34	CovBetan=-0,254900
19		CovKBeta=3,082155E-34	VarK=5,709903E-65	CovKn=-4,704358E-32
20		CovnBeta=-0,254900	CovnK=-4,704358E-32	Varn=38,760779
21	Fim do Relatório de Resultados Simplificado			

Figura 32 – Relatório Simplificado
Fonte: Do autor

O valor de beta (β) é menor que 1, caracterizando falhas prematuras em algumas amostras que, podem ser justificados pelo projeto ou misturas de lotes de fabricação. Para o valor do Eta (η), a aplicação calcula que, em 2566 horas, 64% das peças terão falhado. Os valores n e K são constantes característicos da Lei da Potência. O parâmetro “n” é uma medida que indica a pressão que exerce o estresse sobre a vida e, no caso como é positivo, verificamos que o estresse diminui a vida. Caso fossem valores negativos, indicariam que o estresse estaria aumentando a vida e zero seria como o estresse não afetasse nada. O “K” deve ser maior que zero, e é uma relação inversa do produto tempo em ensaio normal com a tensão de uso normal elevado “n”. O LK (*Likelihood Value*) significa o valor da melhor probabilidade em números.

3.4.4 Informações Gráficas dos Sinaleiros Incandescentes

O *Software Alta*[®] também fornece gráficos dos ensaios. Para tanto, aciona se o ícone “Plotar”. Uma nova aba se abre com os gráficos dos dados em questão.

O gráfico da figura 33, representa as probabilidades de falhas em uso normal, mas com valores projetados correspondentemente aos ensaios acelerados.

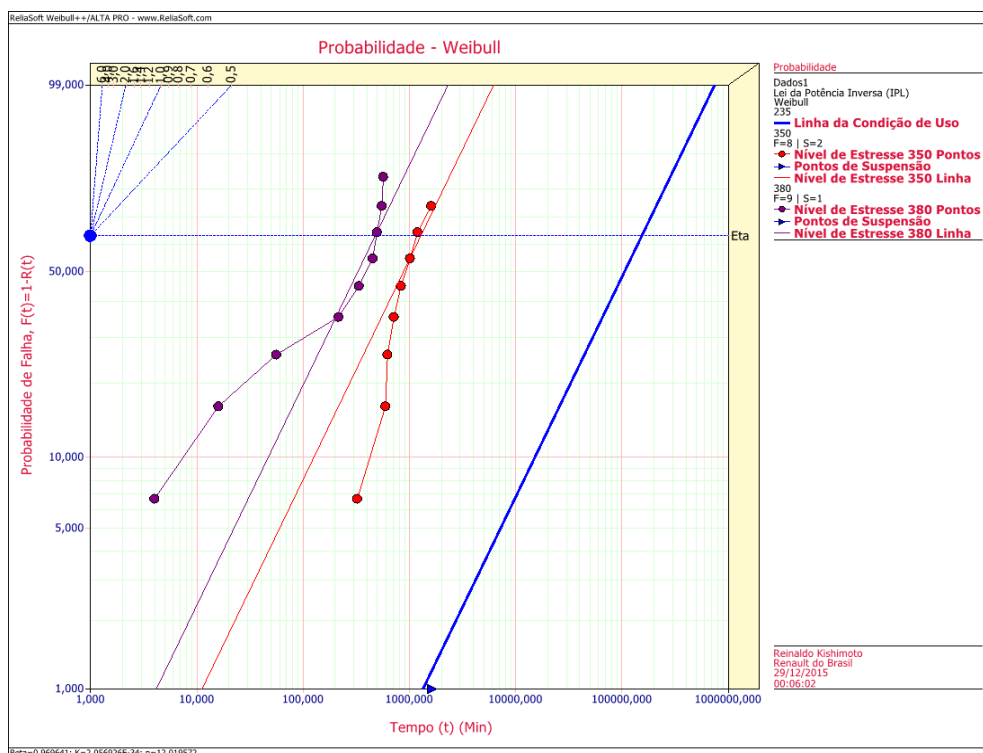


Figura 33 – Gráfico Probabilidade Weibull de Falha em Uso Normal
Fonte: Do autor

Na figura 34 tem se o gráfico da Confiabilidade. Nesse gráfico nota se a tendência decrescente de falhas, isto é, beta (β) menor que 1.

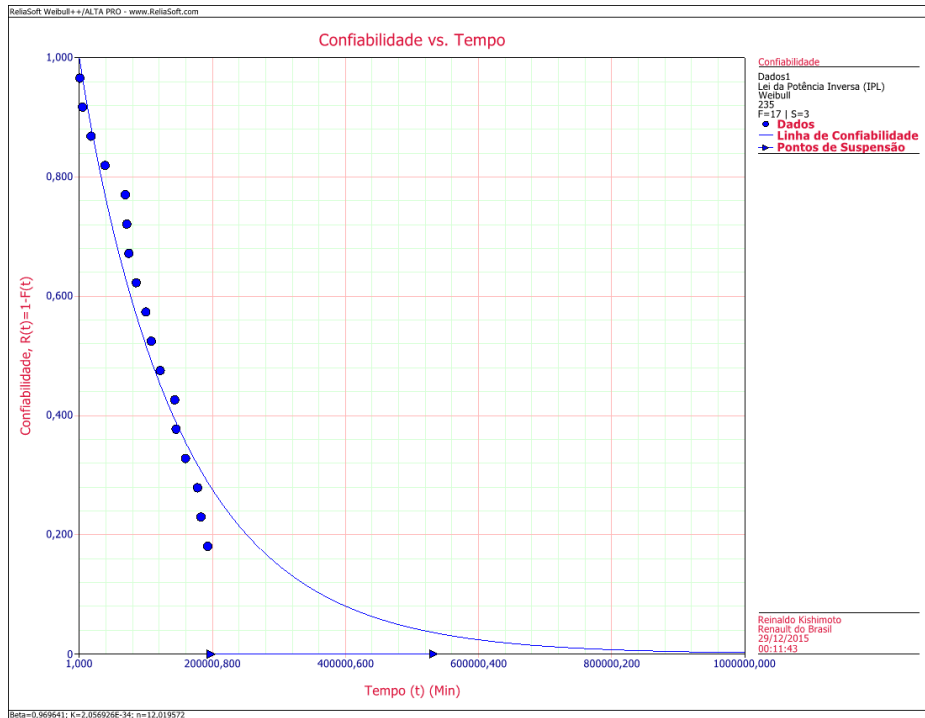


Figura 34 – Gráfico da Confiabilidade
Fonte: Do autor

Na figura 35 observa se outro tipo gráfico da probabilidade falha.

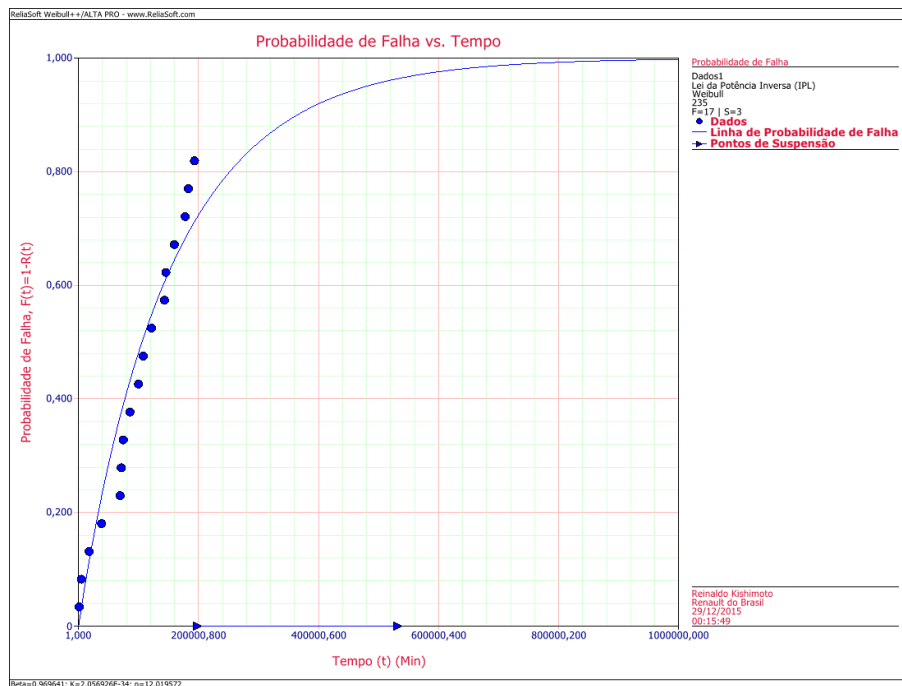


Figura 35 – Gráfico Probabilidade Weibull de Falha em Uso Normal
Fonte: Do autor

Na figura 36 tem se a FDP, na 37 a vida em relação ao estresse e 38 o fator de aceleração em relação a tensão.

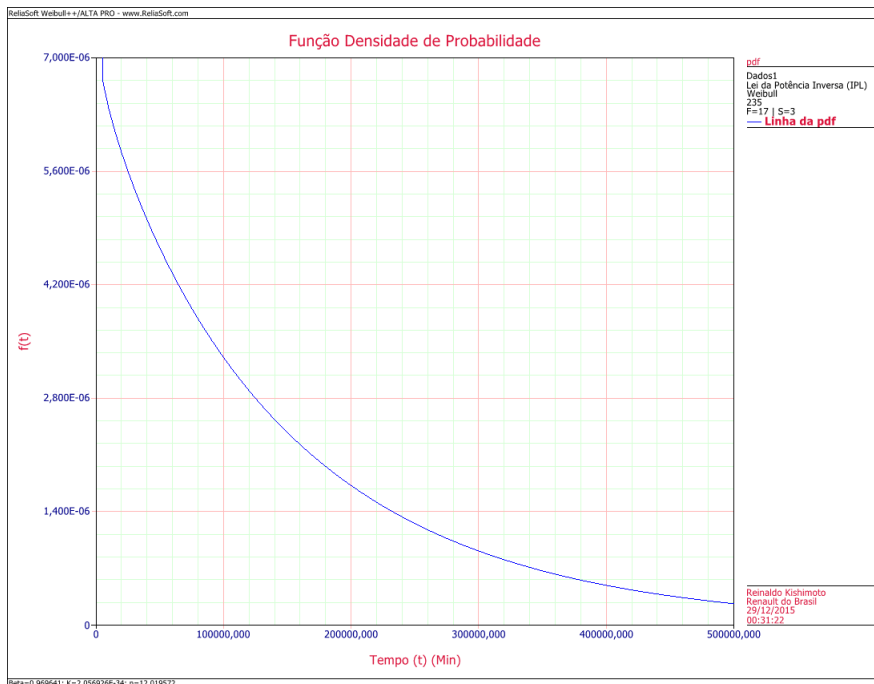


Figura 36 - Gráfico FDP
Fonte: Do autor

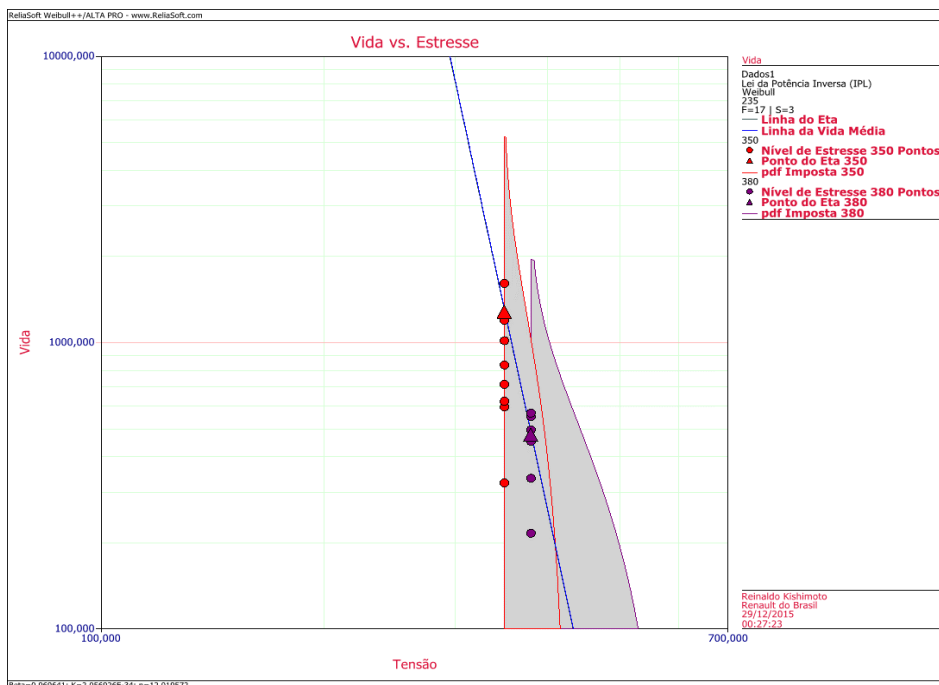


Figura 37 – Gráfico Vida vs Estresse
Fonte: Do autor

No gráfico da figura 37, dois pontos triângulos Eta de cada tensão de estresse, foram linearizados gerando uma reta. Observando a reta formada, nota-se que quanto maior a tensão, menor a vida das lâmpadas.

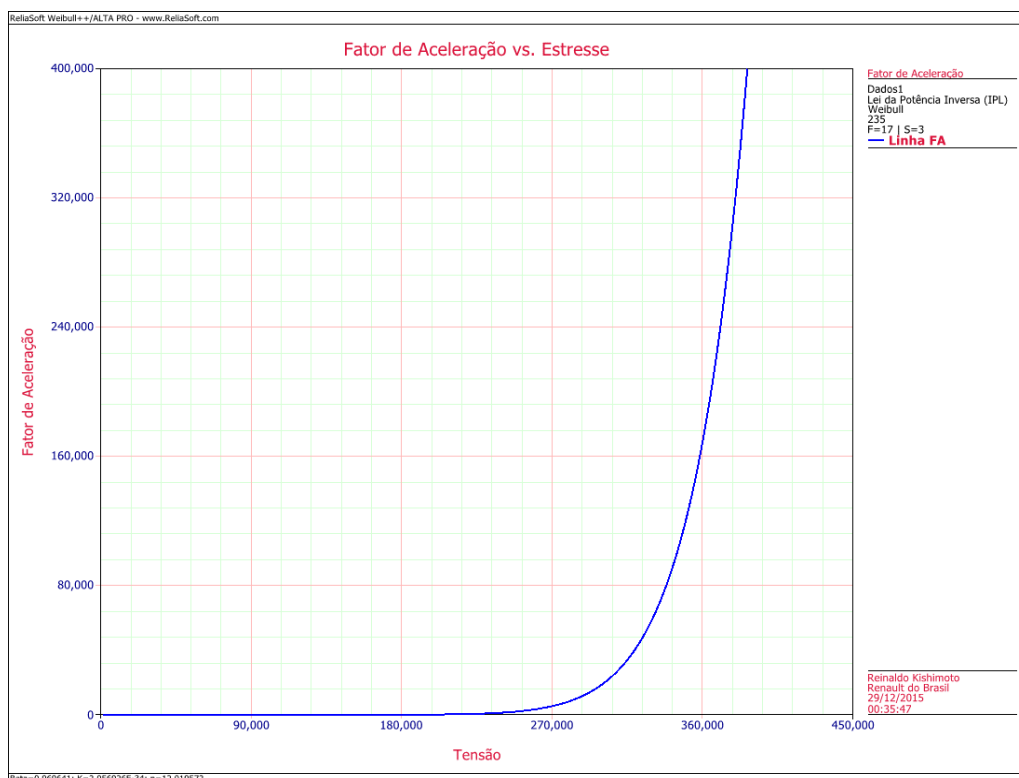


Figura 38 – Gráfico Aceleração vs Tensão
Fonte: Do autor

Um outro tipo de gráfico é construído através da transferência de dados para outro *Software*, o *Weibull++*, também da *ReliaSoft*. A transferência é feita acionando se o ícone “Transferir dados ao *Weibull++*”, selecionando as 4 primeiras caixas de diálogo, selecionando se os níveis desejados e unidade de tempo desejado.

A figura 39 representa o gráfico de contorno gerado pela integração dos referidos *Softwares* deste trabalho. Verifica se pelo gráfico que houve estressamento e diferença de condições operacionais.

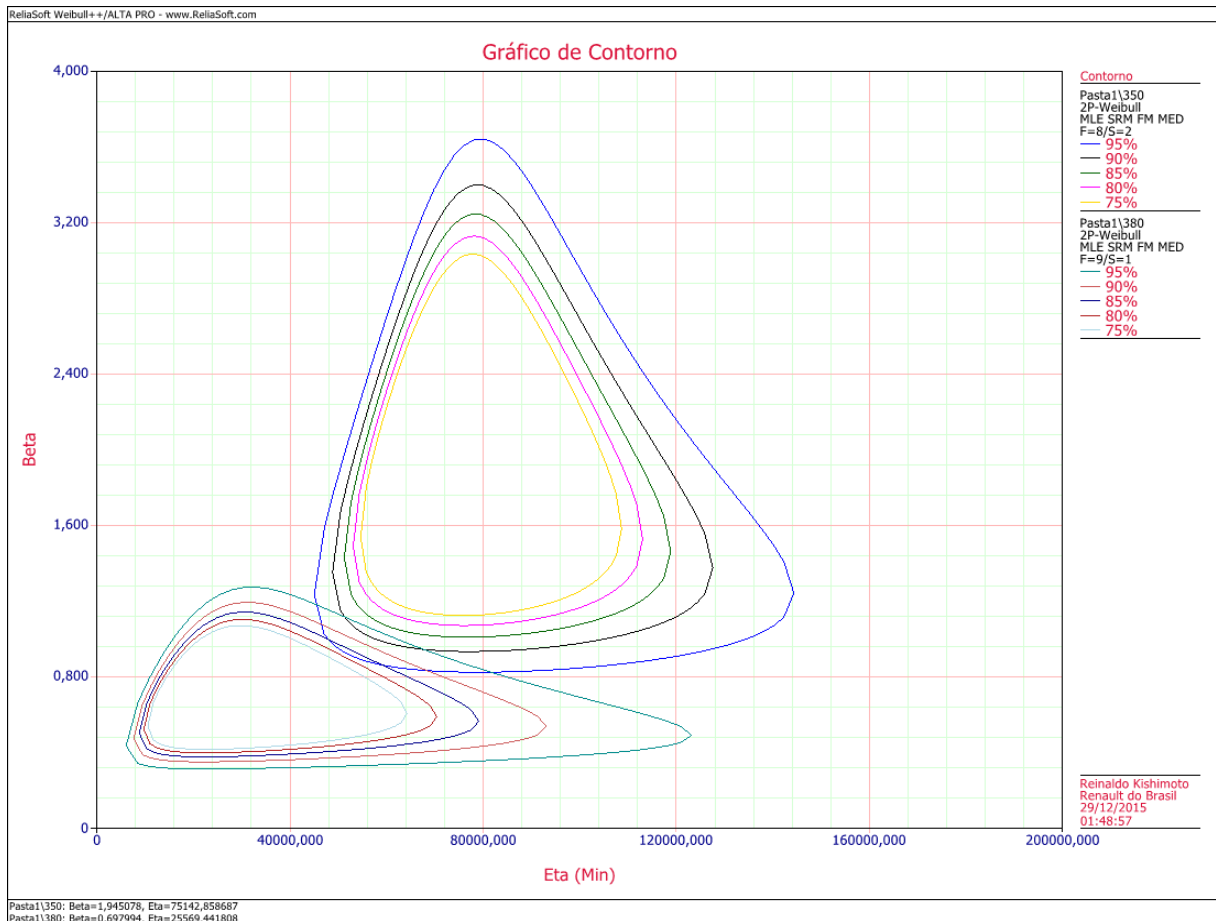


Figura 39 – Gráfico de Contorno

Fonte: Do autor

Os gráficos também podem ser feitos em forma 3D, onde são realizadas outras análises comparativas conforme exemplo da figura 40. São chamados também de gráficos de superfície. Para se chegar ao referido gráfico é necessário acionar o ícone 3D. Nesse tipo de gráfico pode se verificar outras tendências e influências dos parâmetros de estressamento no comportamento do ensaio. Com o teclado “Ctrl” e o botão direito do mouse a figura 3D pode ser rotacionada e assim pode se analisar cortes, superfícies em 3 dimensões.

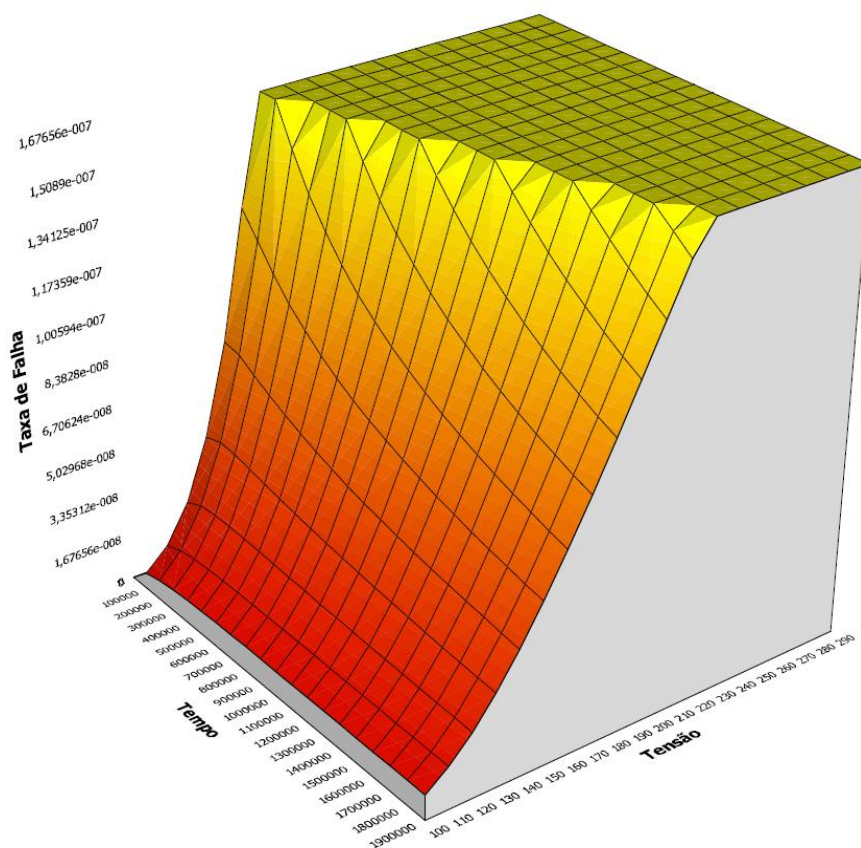


Figura 40 – Gráfico 3D
 Fonte: Do autor

Na figura 41, são apresentados modelos de gráficos combinados das duas tensões de estresse, onde é possível mais análises correlacionando os parâmetros de estresse com dados transportado do Alta[®] para o Weibull++[®]

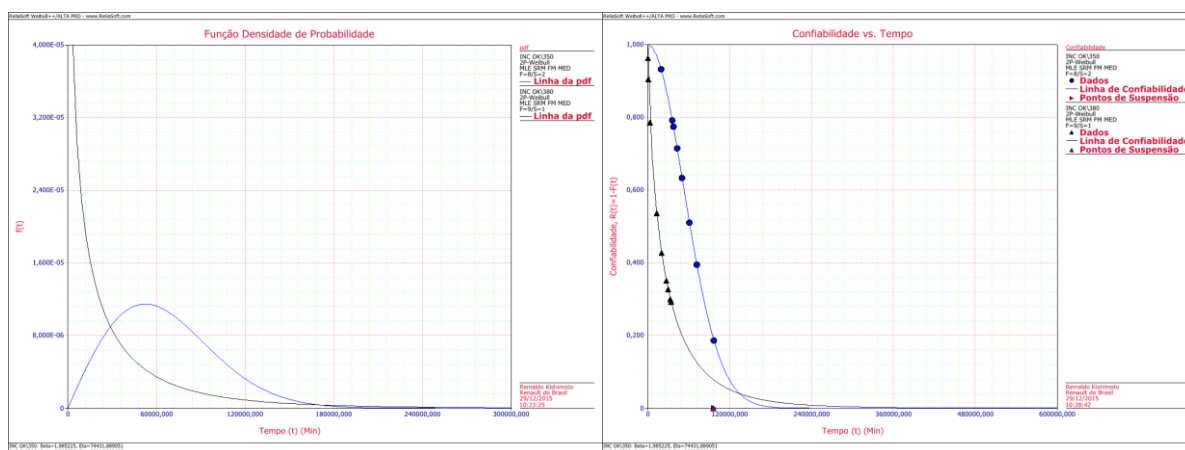


Figura 41 – Gráficos Combinados
 Fonte: Do autor

3.4.5 Informações dos Sinaleiros LED

Seguindo os mesmos procedimentos de cálculos do QCP, para os sinaleiros LED, foram compilados valores no quadro 7 para efeito de comparação com sinaleiros incandescentes. Foram utilizados os mesmos parâmetros dos sinaleiros incandescentes (235Vac, 1000 horas e limites de confiança). Porém, no teste de aderência foi selecionada a IPL-Lognormal pelo critério do *Software*.

Sinaleiro	Confiabilidade	Prob. De Falha	Vida Média	Taxa de Falha	Fator de Aceleração	Vida B10	K	n
inc	0,67	0,33	156115	$6,48 \times 10^{-6}$	322,6	15123	$2,06 \times 10^{-34}$	12
led	0,9	0,1	22623816	$1,436 \times 10^{-6}$	21,68	59793	$5,16 \times 10^{-22}$	6,4

Quadro 7 - Valores dos Parâmetros de Confiabilidade

Fonte: Do Autor

Verifica se que a alta qualidade confiada aos produtos LED é de certa forma confirmada neste ensaio. Valores significativamente melhores de confiabilidade, probabilidade de falha, taxa de falha, vida média, vida B10 e fator de aceleração podem ser confirmadas no quadro.

O valor de “n” mostra que o fator de estressamento é menos atuante nos sinaleiros LED.

Vale ressaltar a diferença com relação a vida média apontada nos dados do fornecedor, que é maior que 30000 horas, em relação aos cálculos do *software*, que foi de 377063 horas (22623816 minutos). O fornecedor deixa aberto que a expectativa de vida é maior que 30000 horas, portanto seria aceitável o valor fornecido pelo *software*. Outro ponto que deve ser levado em consideração é a distribuição probabilística das lâmpadas incandescente que, no caso foi o *Weibull*, e, para sinaleiros LED foi Lognormal. Para efeito de estudo, foi realizada a simulação em Weibull e o valor da vida média foi de 43292 horas (2597544 minutos), que poderia ser considerado mais coerente (figura 42).

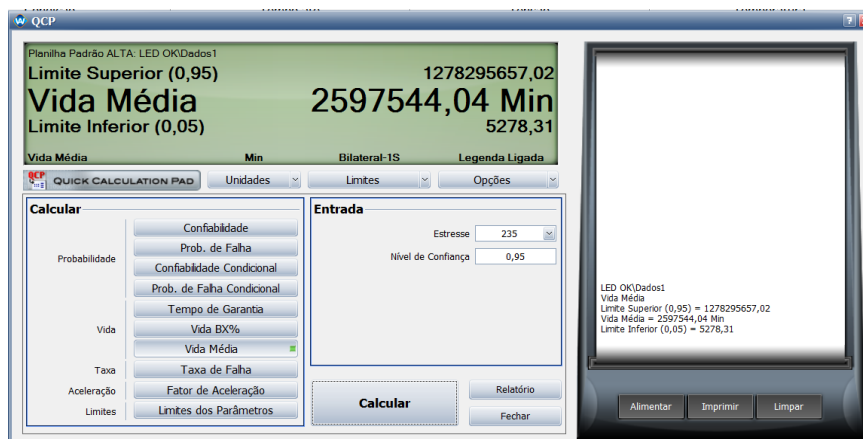


Figura 42 – Vida Média LED
Fonte: Do autor

3.4.6 Informações Gráficas dos Sinaleiros LED

Similar aos ensaios em sinaleiros incandescentes, gráficos dos ensaios em LED's trazem informações relevantes acerca das interações dos parâmetros e podem ser feitas conforme ensaio anterior. Para efeito mais produtivo, foram realizados gráficos sobrepostos. Para tanto é necessário acionar com botão direito mouse na criação de gráficos múltiplos do Alta, adicionar gráficos sobrepostos, selecionar os itens correspondentes na lista suspensa e gerar os gráficos. Muitas vezes são necessários ajustes nas coordenadas para melhor posicionamento dos gráficos.

No gráfico da figura 43, tem se a confiabilidade dos modelos de sinaleiros. O LED apresenta melhor confiabilidade do decorrer dos tempos:

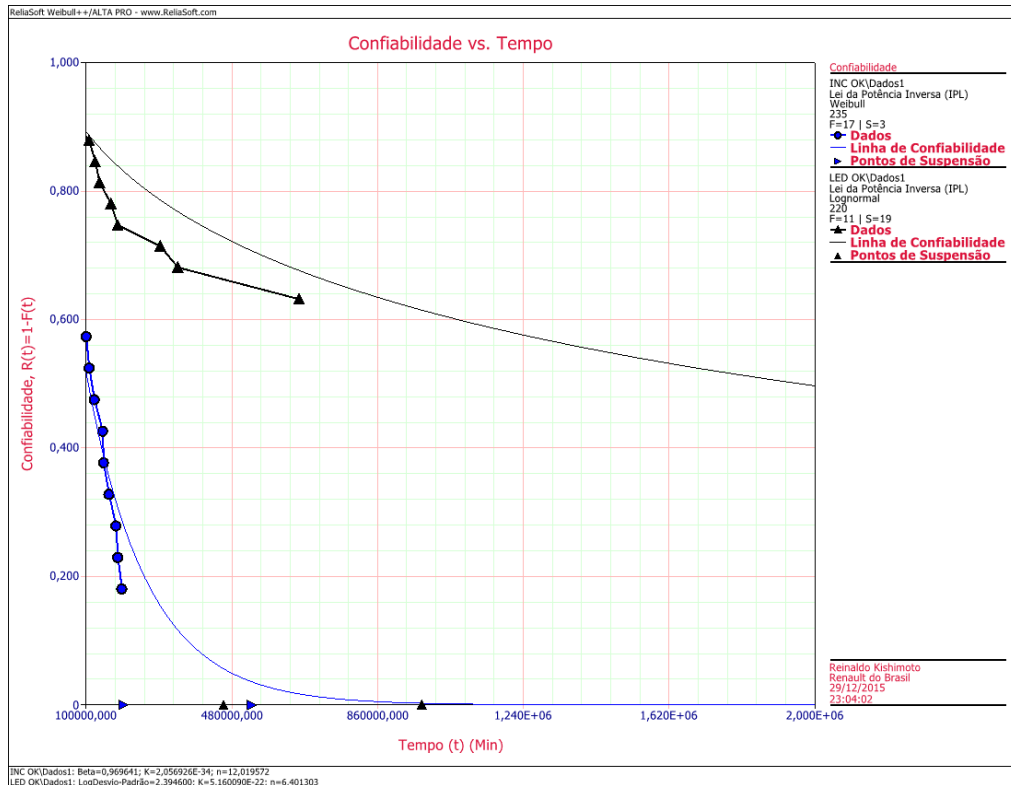


Figura 43 – Comparativo de Confiabilidade
Fonte: Do autor

Na figura 44, a probabilidade falha do LED também se mostra inferior aos dos incandescentes. Por exemplo, em 1660 horas, existe a probabilidade de mais de 40% dos itens incandescentes falharem enquanto que, 10% dos LED's podem falhar.

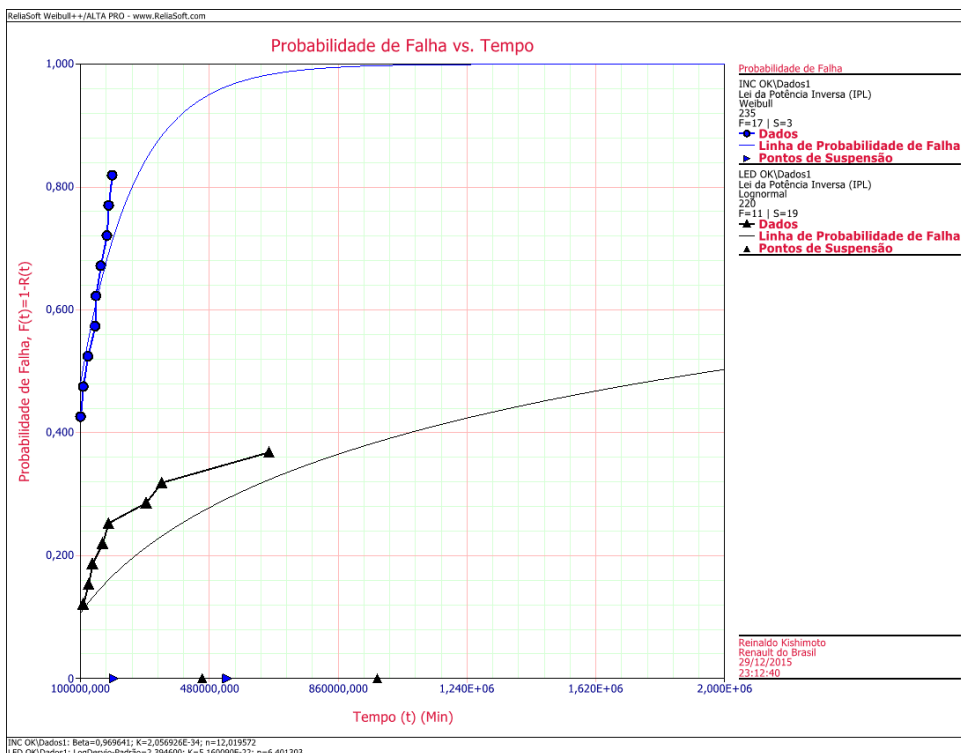


Figura 44 – Comparativo de Probabilidade de Falhas
Fonte: Do autor

O gráfico da figura 45 representa a FDP, mostra também a probabilidade de uma parte dos sinaleiros LED sobreviverem e os incandescentes já terem falhado.

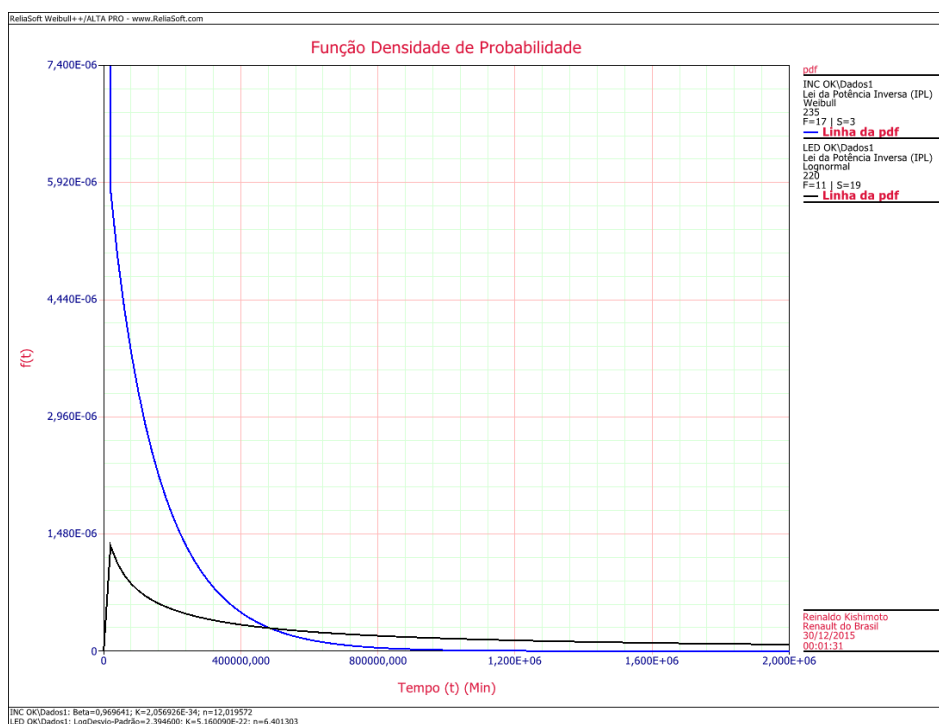


Figura 45 – Comparativo da FDP
Fonte: Do autor

Uma taxa decrescente de falhas e certa constância ao longo do tempo pode ser verificado no gráfico da figura 46, característicos de itens eletrônicos e lâmpadas (Curvas E e F), conforme Siqueira (2005, p. 87). A taxa de falha dos incandescentes é bem superior aos dos LED's.

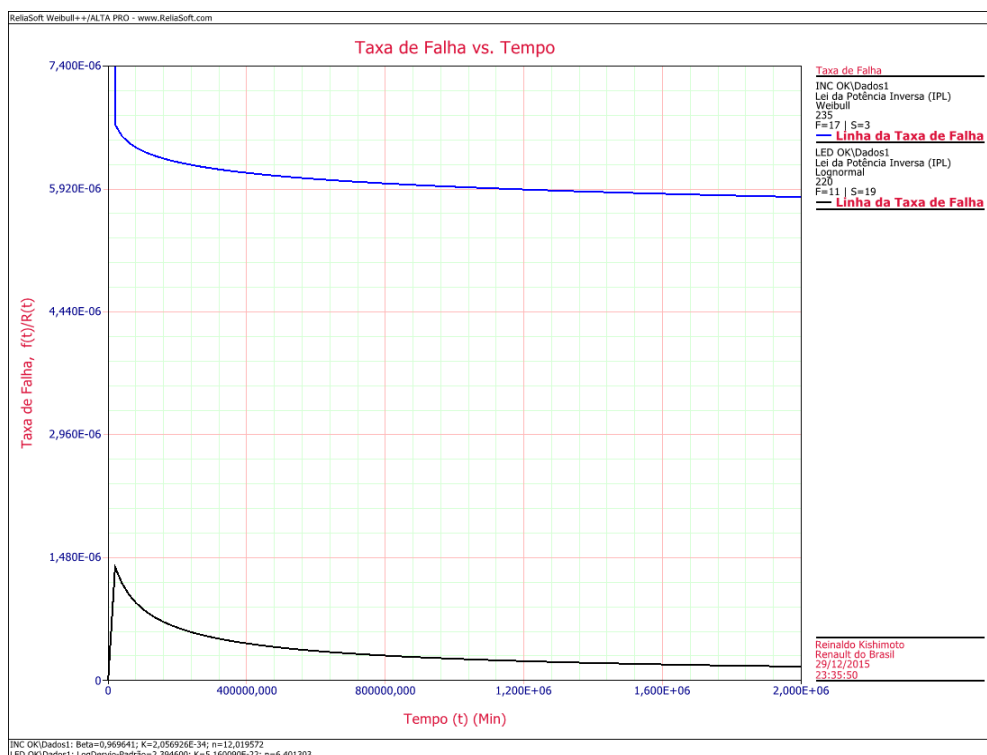


Figura 46 – Comparativo Taxa de Falha
Fonte: Do autor

O gráfico de contorno da figura 47, gerado conforme feito para ensaio dos sinaleiros incandescentes, apresentou sobreposição em todos níveis de confiança, que podem ser oriundos das poucas falhas que ocorreram, o parâmetro de estressamento não foi apropriado, erros no procedimento de coleta de dados, diferenças nas distribuições probabilísticas ou falta de mais tempo de estressamento.

A sobreposição indica que não houve muitas diferenças nas condições de estressamento, mas as leituras no QCP e gráficos indicam certa interação com os parâmetros.

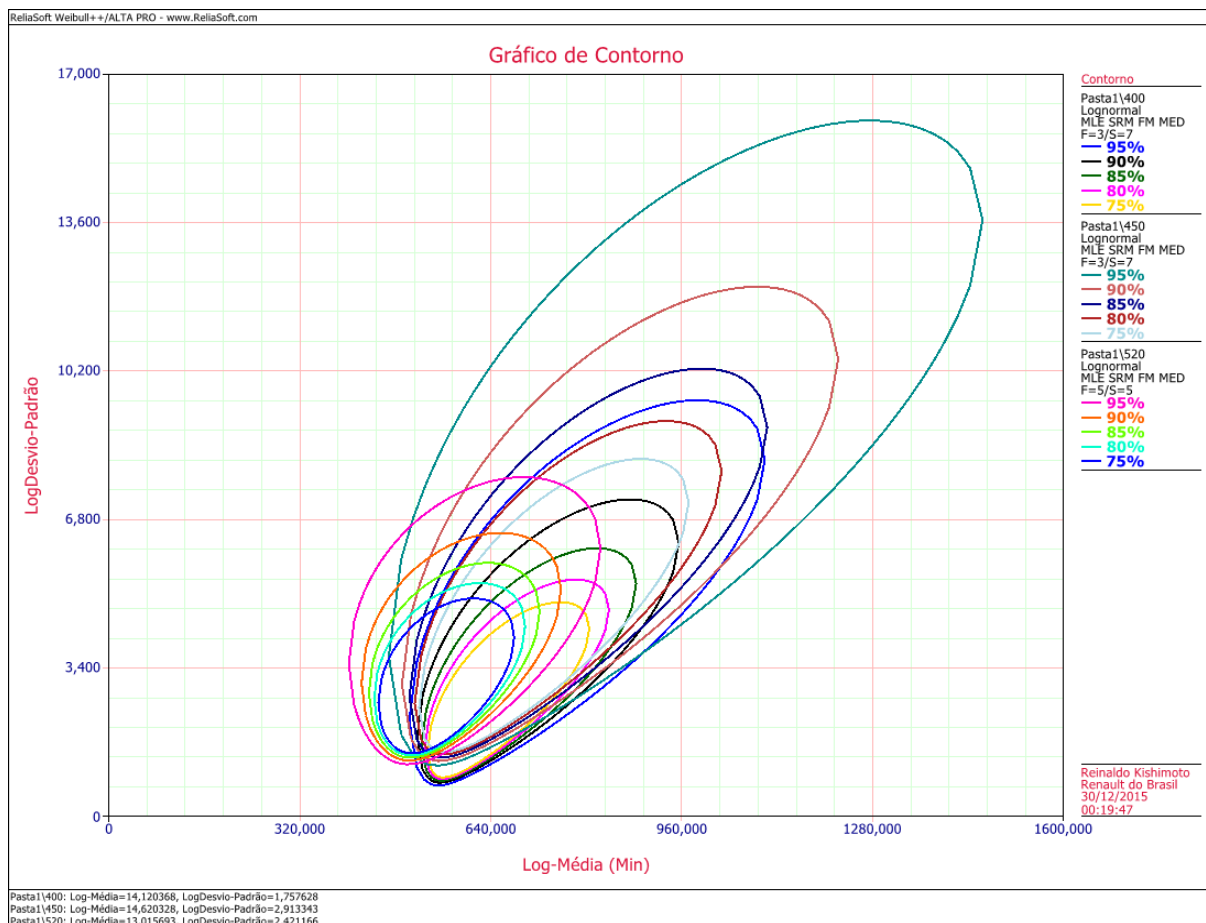


Figura 47 – Gráfico de Contorno dos Sinais LED
Fonte: Do autor

Os resultados apresentados nos cálculos e nos gráficos demonstraram a grande versatilidade em se utilizar um *Software* para auxiliar e economizar tempo nas análises. Mesmo com ensaio feito domesticamente foi possível trabalhar e praticar o Ensaio Acelerado Vida.

Existem outros cálculos nos QCP's, outros gráficos e inúmeros recursos não abordados nestes ensaios que podem ser explorados, mas não foram objeto desse estudo.

4 CONCLUSÕES

Para os dois casos, optou se pela Lei da Potência Inversa (IPL) como Modelo de Estressamento, por se tratar de uma grandeza diferente da temperatura, portanto não houve necessidade de determinar valores de E_a , apenas o Fator de Estressamento para os dois tipos de lâmpadas. A aplicação permite mudar para outros modelos e obter a E_a , ficando, porém, a dúvida da precisão dos valores obtidos.

O *Software* automaticamente elegeu a distribuição *Lognormal* para as lâmpadas LED e *Weibull* para as lâmpadas incandescentes. As análises dos valores de vida média usando IPL *Weibull* para as lâmpadas incandescentes, ficaram muito próximas das folhas de dados e para os de LED usando IPL *Lognormal*, coerentes com o que é visto na prática. Os resultados indicam que em Confiabilidade realmente não se pode basear apenas em valores médios de falhas, mas nas distribuições estatísticas. Para cada caso, o *Software* elegeu um tipo de distribuição, nas simulações forçando outras distribuições, observou se valores muito discrepantes das folhas de dados.

Com análise dos dados obtidos, é possível definir estratégias de peças de reposição, troca de tecnologias e modificações em planos de manutenção.

Como mencionam Freitas & Colosimo (1997, p. 150):

A única afirmação que pode ser feita com relação a testes acelerados, sem causar polêmica, é que este é um assunto polêmico! Embora esse tipo de procedimento seja utilizado de uma forma outra pelas indústrias, existem opiniões divergentes a respeito de como realizar tais testes e interpretar os resultados.

Como resultados podem se citar:

- Sinaleiros LED têm comprovadamente expectativa de vida mais longa;
- Sinaleiros incandescentes podem ser estressados com tensão;
- Temperatura não é adequada para estressar sistemas cujo funcionamento é baseado em resistência elétrica;
- Apesar de não ser foco desse trabalho, o sinaleiro LED apresentou um modo de falha considerado dos piores pelos usuários, a intermitência (Param de funcionar e voltar após algum tempo);

- É necessário mais meios estressante para os LED's, pois tensão é muito demorada;
- Baseado na confirmação da vida média mínima dos dados de folha de cada modelo de sinaleiro pelos ensaios, um custo de R\$4,50 uma lâmpada incandescente, R\$9,50 um sinaleiro LED, pode se calcular ficticiamente um custo de aproximadamente R\$135,00 em lâmpadas incandescentes para cada falha uma falha do LED. Custo equivalente a 13 sinaleiros LED.
- Os resultados dos primeiros ensaios são aprendizados, cujas competências devem ser balanceados entre literaturas, normas, trabalho empírico e simulações.

Principais dificuldades (Dúvidas):

- Como determinar o valor mínimo para início de um determinado ensaio?
- Quais são estímulos a serem utilizados num determinado ensaio acelerado?
- Como determinar parâmetros de ambiente e local de ensaio?
- Como aplicar os estressamentos?
- Como realizar as observações?
- Quais modos de falhas considerar?
- Como realizar um planejamento de ensaio acelerado:

Vantagens do ensaio acelerado:

- A principal é a predição;
- Aquisição de conhecimento sobre os produtos ensaiados;
- Simulação de cenários diversos;

Desvantagem:

- Muito multidisciplinar;
- Matemática pesada se não tiver um *software* para auxiliar;
- Alto investimento em instrumentação e instalações;
- Alguns resultados ficam diferentes dos valores dos fabricantes, o que pode ser questionado.

Trabalhos Futuros

- Ensaios com vibração;
- Considerar outros modos de falha;
- Realizar os mesmos ensaios em bancada industrial em ambiente climatizado;
- Usar outros *softwares* para comparação de valores.

REFERÊNCIAS

ASSIS, Rui. **Apoio à decisão em manutenção na gestão de activos físicos**. Lisboa: Lidel Edições Técnicas Ltda, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16078**: equipamentos de medição de eletricidade – confiabilidade – ensaio de confiabilidade – vida acelerada por umidade e temperatura. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

BERGAMO FILHO, Valentino. **Confiabilidade básica e prática**: métodos para avaliar ou predizer a qualidade de produtos ou sistemas ao longo do tempo, aproveitando os resultados como vantagem competitiva. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard BlucherLtda, 1997.

BRANCO FILHO, Gil. **Dicionário de termos de manutenção, confiabilidade e qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2006.

FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, José Luis D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FREITAS, Marta A.; COLOSIMO, Enrico Antonio. **Confiabilidade: análise de tempo de falha e testes de vida acelerados**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1997. 326 p. (Série Ferramentas da Qualidade, v. 12).

HANSEN, Robert C. **Eficiência global dos equipamentos**: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros. Porto Alegre: Bookman, 2006.

KARDEC, Alan; LAFRAIA, João Ricardo. **Gestão estratégica e confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002. (Coleção Manutenção).

LAFRAIA, João Ricardo B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MAZZEI, Denis. **LCCA Análise do custo do ciclo de vida**. [S.l.]: ReliaSoft, 2014. 224 p. (Apostila de treinamento).

METALTEX. 2015. Disponível em <<http://www.metaltex.com.br/produto/l20/l20-sinalizador-LED>> Acesso em 23 out 2015.

PALLEROSI, Carlos Amadeu. **Metodologia básica dos ensaios**. 1. ed. [S.l.]: ReliaSoft Brasil, 2007. 86 p. (Confiabilidade, a quarta dimensão da qualidade, v. 6).

_____. **Ensaio acelerados**. 1. ed. [S.l.]: ReliaSoft Brasil, 2007. 266 p. (Confiabilidade, a quarta dimensão da qualidade, v. 3).

_____. **Projeto dos ensaios**. 1. ed. [S.l.]: ReliaSoft Brasil, 2007. 154 p. (Confiabilidade, a quarta dimensão da qualidade, v. 7).

PALLEROSI, Carlos Amadeu; MAZZOLINI, Beatriz P. M.; MAZZOLINI, Luiz Ricardo. **Confiabilidade humana: conceitos, análises, avaliações e desafios**. São Paulo: All Print Editora, 2011.

RELIASOFT. **Accelerated life testing reference**. Tucson: ReliaSoft Corporation, 2014. 237 p. (Manual de treinamento, versão 9).

REALISOFT. Alta. Disponível em <<http://www.reliasoft.com.br/alta/features1.htm>> Acesso em 08 dez 2015.

_____. **Engenharia da confiabilidade: análise de dados de vida**. São Paulo: ReliaSoft Corporation, 2008. 432 p. (Apostila de treinamento).

RYAN, Thomas. **Estatística moderna para engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

SIQUEIRA, Iony P. de. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SOLITRONICS ENGENNERING LTDA.. T-20x45mm BA15D LED Signal Lamp. 2013. Disponível em <<http://www.solitronics.com/products/tower-light/cat-sel-lamp-LED-tower-pack-n.FDP>> Acesso em 16 dez 2015

SPANÓ, Claudio C. **Crescimento da confiabilidade**. [S.l.]:ReliaSoft Brasil, 2014. 210 p.(Apostila de treinamento).

_____. **Ensaios acelerados de vida**. [S.l.]: ReliaSoft Brasil, 2014. 313 p. (Apostila de treinamento).

TEMPERATUREWAETHER, 2015. Disponível em <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.temperaturewather.com/caribic/tempo/pt-tempo-na-brasil-curitiba.htm&gws_rd=cr&ei=_ulcVvm2I4OgwQS-nJ6wCQ> Acesso em 19 set 2015.