

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

LUCAS TOLEDO DE ALMEIDA

**ANÁLISE DE VIDA ACELERADA EM DIODOS EMISSORES DE LUZ APLICADOS  
EM MEDIDORES ELETRÔNICOS DE ENERGIA ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA**

**2016**

LUCAS TOLEDO DE ALMEIDA

**ANÁLISE DE VIDA ACELERADA EM DIODOS EMISSORES DE LUZ APLICADOS  
EM MEDIDORES ELETRÔNICOS DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica apresentado como requisito parcial para obtenção do título da Especialista em Engenharia da Confiabilidade pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Co-orientador: Cláudio Caiani Spanó, Eng.

**CURITIBA**

**2016**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Curitiba  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

**ANÁLISE DE VIDA ACELERADA EM DIODOS EMISSORES DE LUZ APLICADOS  
EM MEDIDORES ELETRÔNICOS DE ENERGIA ELÉTRICA**

por

**LUCAS TOLEDO DE ALMEIDA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) foi apresentado em 25 de abril de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Emerson Rigoni, Dr.  
Orientador

---

Carlos Henrique Mariano, Dr.  
Membro Titular

---

Marcelo Rodrigues, Dr.  
Membro Titular

## RESUMO

ALMEIDA, Lucas Toledo. **Análise de vida acelerada em diodos emissores de luz aplicados em medidores eletrônicos de energia elétrica**. 2016. 63f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

Esta monografia apresenta um estudo de Ensaio Acelerado de Vida para dois fornecedores de componentes eletrônicos aplicados em medidores de energia elétrica. O componente avaliado é o Diodo Emissor de Luz (LED) e o principal objetivo é a análise estatística dos resultados dos ensaios após a aplicação de estímulos de temperatura e umidade em diversas amostras de LEDs. Por fim, será proposta a substituição do fornecedor atualmente homologado por um que apresenta maior rendimento e menor custo. Será utilizada como referência a norma NBR 16078:2012.

**Palavras-chave:** Ensaio de Vida Acelerada, Confiabilidade, Diodo Emissor de Luz, LED, Componentes Eletrônicos.

## ABSTRACT

ALMEIDA, Lucas Toledo. **Accelerated Life Analysis in light-emitting diodes applied in electronic meters of electricity**. 2016. 63f. Monograph (Engineering Reliability) – Academic Department of Electrical, Federal Technological University of Paraná, 2016.

This paper presents a study of Accelerated Life Testing to two suppliers of electronic components used in electricity meters. The rated component is the Light Emitting Diode (LED) and the main objective is the statistical analysis of test results after the application of temperature and moisture stimuli in several samples of LEDs. Finally, replacement of currently approved by a supplier that has higher performance and lower cost is proposed. It will be used as a reference standard NBR 16078: 2012.

**Keywords:** Accelerated Life Testing, Reliability, Light Emitting Diode, LED, Electronic Components.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Exemplos de componentes LEDs em diversas cores.....	15
Figura 2 Vista explodida de um medidor eletromecânico .....	17
Figura 3 Bobinas de tensão e corrente de um medidor eletromecânico .....	17
Figura 4 Partes internas de um medidor eletromecânico .....	18
Figura 5 Registrador de consumo do medidor eletromecânico.....	18
Figura 6 Fórmula para o cálculo da energia consumida por uma UC .....	19
Figura 7 Diagrama de blocos do medidor eletrônico de energia elétrica .....	20
Figura 8 Curva característica de taxa de falhas (curva da banheira).....	23
Figura 9 Exemplo de um função densidade de probabilidade (PDF).....	24
Figura 10 Relação entre PDF x CDF.....	25
Figura 11 Exemplo de uma distribuição Normal .....	25
Figura 12 Exemplo de uma distribuição Log-normal .....	26
Figura 13 Exemplo de uma distribuição Exponencial .....	27
Figura 14 Exemplo de uma distribuição Weibull.....	28
Figura 15 Câmara climática utilizada no ensaio .....	33
Figura 16 Display da câmara climática com informações do ensaio.....	33
Figura 17 Tela de criação de um novo projeto no software .....	37
Figura 18 Fólio padrão no software para análise de dados de vida.....	38
Figura 19 Tipos e opções de dados de entrada no software .....	38
Figura 20 Página inicial no software após configurações iniciais .....	39
Figura 21 Dados de falhas do fabricante SUNLED inseridos no software .....	40
Figura 22 Dados de falhas do fabricante LIGITEK inseridos no software .....	40
Figura 23 Beta e Eta do fabricante SUNLED calculado pelo software.....	41
Figura 24 Beta e Eta do fabricante LIGITEK calculado pelo software .....	41
Figura 25 Gráfico de probabilidade Weibull do fabricante SUNLED .....	43
Figura 26 Gráfico de confiabilidade vs tempo do fabricante SUNLED .....	44
Figura 27 Gráfico de probabilidade de falha vs tempo do fabricante SUNLED .....	44
Figura 28 Gráfico da função densidade de probabilidade fabricante SUNLED.....	45
Figura 29 Gráfico da taxa de falha vs tempo do fabricante SUNLED .....	45
Figura 30 Gráfico de probabilidade Weibull do fabricante LIGITEK.....	46
Figura 31 Gráfico de confiabilidade vs tempo do fabricante LIGITEK.....	47
Figura 32 Gráfico de probabilidade de falha vs tempo do fabricante LIGITEK .....	48

Figura 33 Gráfico da função densidade de probabilidade fabricante LIGITEK .....	48
Figura 34 Gráfico da taxa de falha vs tempo do fabricante LIGITEK.....	49

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Dados técnicos do componente LED do fabricante SUNLED .....	32
Quadro 2 – Dados técnicos do componente LED do fabricante LIGITEK.....	32
Quadro 3 – Resultados dos ensaios acelerados do fabricante SUNLED .....	35
Quadro 4 – Resultados dos ensaios acelerados do fabricante LIGITEK .....	35
Quadro 5 – Resumo dos dados de falha a serem inseridos no software .....	36
Quadro 6 – Proporcional de horas de ensaio acelerado x horas de campo.....	39
Quadro 7 – Relatório de Confiabilidade fabricante SUNLED para 5 simulações .....	42
Quadro 8 – Relatório de Confiabilidade fabricante LIGITEK para 5 simulações .....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALT	Ensaio de Vida Acelerada (Accelerated Life Test)
TAF	Tempo Até Falha
AVL	Lista de fornecedores aprovados (Approved Vendor List)
UC	Unidade Consumidora (casa, comércio, indústria e outros)
$t_s$	Tempo até falhas sob temperatura de estresse
$t_u$	Tempo até falhas sob temperatura de uso
$n$	Expoente característico do ativo (no modelo de temperatura e umidade de Peck – varia de 1 a 10, tipicamente 3)
$K$	Constante de Boltzmann ( $8,617 \times 10^{-5}$ eV/K)
$E_a$	Energia de ativação (varia entre 0,3 a 1,5 eV, tipicamente 0,9 eV)
$\gamma$	Parâmetro de localização da distribuição Weibull
$\eta$	Parâmetro de escala ou parâmetro de vida da distribuição Weibull
$\beta$	Parâmetro da forma da distribuição Weibull
$m$	Média entre as ocorrências de uma distribuição Exponencial
$\lambda$	Taxa de falhas de uma distribuição Exponencial
$\sigma'$	Desvio-padrão da distribuição Log-Normal
$\mu'$	Média da distribuição Log-Normal
$\sigma$	Desvio-padrão da distribuição Normal
$\mu$	Média da distribuição Normal
$f(t)$	Função de Densidade de Probabilidade (FDP)



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	TEMA .....	10
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	11
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	11
1.4	OBJETIVOS .....	12
<b>1.4.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>12</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>12</b>
1.5	JUSTIFICATIVA .....	13
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	13
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2</b>	<b>COMPONENTE LED E O MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1	COMPONENTE LED (DIODO EMISSOR DE LUZ) .....	15
<b>2.2</b>	<b>MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.1</b>	<b>MEDIDOR ELETROMECAÂNICO</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.2</b>	<b>MEDIDOR ELETRÔNICO</b> .....	<b>19</b>
2.3	FUNÇÃO DO LED NO MEDIDOR ELETRÔNICO DE ENERGIA .....	20
<b>3</b>	<b>TEORIA DE CONFIABILIDADE</b> .....	<b>22</b>
3.1	ANÁLISE DE DADOS DE VIDA.....	22
<b>3.1.1</b>	<b>Conceitos básicos</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Conceitos estatísticos</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Modelos de distribuições</b> .....	<b>25</b>
3.2	ENSAIO DE VIDA ACELERADA .....	29
<b>3.2.1</b>	<b>Modelo Estresse-Vida (Relação de Arrhenius e Eyring)</b> .....	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>31</b>
4.1	PROPOSTA .....	31
4.2	PARÂMETROS DE ENSAIO .....	31
<b>4.2.1</b>	<b>Quantidade de amostras de medidores / componentes</b> .....	<b>31</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Características técnicas do componente LED em análise</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Localização dos LEDs para verificação de funcionamento</b> .....	<b>32</b>
<b>4.2.4</b>	<b>Modelo de câmara climática utilizada no ensaio</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2.5</b>	<b>Condições ao longo do ensaio</b> .....	<b>34</b>
4.3	RESULTADOS APÓS ENSAIO DE VIDA ACELERADA.....	35

4.4	CÁLCULOS, CONFIGURAÇÃO E INSERÇÃO DE DADOS NO SW .....	36
4.4.1	Cálculo do fator de aceleração .....	36
4.4.2	Configurações do software de confiabilidade.....	37
4.4.3	Dados de entrada no software de confiabilidade.....	39
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	40
4.5.1	Beta ( $\beta$ ) e Eta ( $\eta$ ) obtidos para os fabricantes SUNLED e LIGITEK.....	40
4.5.2	Relatório de Confiabilidade para os fabricantes SUNLED e LIGITEK....	42
4.5.3	Gráficos para os fabricantes SUNLED e LIGITEK.....	43
5	ANÁLISE GERAL .....	50
6	CONCLUSÕES .....	52
7	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
	REFERÊNCIAS .....	54
	ANEXO A – RELATÓRIO DE ALTERAÇÃO DO COMPONENTE .....	56

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta tema, problema, objetivos, justificativa, procedimento metodológico, pesquisa teórica, estrutura do trabalho e por último o cronograma desta monografia.

### 1.1 TEMA

Durante a história da humanidade, o homem utilizando a inteligência por ele desenvolvida, realizou diversas descobertas a fim de reduzir seus esforços e aumentar seu conforto.

Mas uma destas descobertas elevou exponencialmente esta evolução: a geração da energia elétrica devido a sua versatilidade e eficiência na conversão em calor, em iluminação, em energia mecânica e diversas outras possibilidades, desempenhando um papel extremamente importante na sociedade. Assim, com o domínio da energia elétrica, houve um grande avanço nos diversos campos da ciência moderna (CPFL, 2011).

No campo da eletrônica, surgiram os mais variados tipos de componentes como capacitores, transistores, resistores, microcontroladores, diodos emissores de luz (LED) e milhares de outros que integram produtos e que fazem parte do dia a dia das pessoas.

Desta forma, cada dia mais este mercado consumidor exige equipamentos robustos, seguros e eficientes que possam desempenhar suas funcionalidades por um período mínimo de tempo (garantia), com alto nível de confiabilidade, durabilidade e com baixos índices de falhas.

Tendo como um dos principais objetivos o atendimento a estas expectativas acima mencionadas, a Engenharia da Confiabilidade desempenha um papel fundamental no combate a falhas de desempenho, para o aumento da robustez e segurança de um projeto seja no momento do desenvolvimento do produto ou ao longo de sua vida útil.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Considerando a extensa gama de componentes disponíveis no mercado, este trabalho se limita ao estudo da funcionalidade de um componente específico, que neste caso é o diodo emissor de luz, mais conhecido como LED, utilizado em medidores eletrônicos de energia elétrica com a função de indicar funcionamento (power-on), pulsos de consumo (energia ativa/reactiva) e comunicação remota. Neste estudo específico será utilizado conceitos de vida acelerada, conforme norma NBR 16078:2012.

## 1.3 PROBLEMAS E PREMISAS

Cada dia mais órgãos regulamentadores como INMETRO, ANEEL, IPEM, além das grandes concessionárias de energia elétrica como Copel, Cemig e Light exigem em suas licitações produtos que atendam a níveis mínimos de qualidade (INMETRO, 2012). Esta exigência cada vez mais constante trará grandes resultados aos clientes, pois seus produtos serão robustos, confiáveis e com uma alta taxa de confiabilidade nele atribuído. No entanto, os custos no desenvolvimento serão cada vez mais elevados para os fornecedores, tendo em vista que toda esta qualidade elevada terá impacto diretamente no custo final do produto.

Visando a redução de tais impactos nos produtos, a Engenharia da Confiabilidade com suas ferramentas gerenciais permite a obtenção de grandes resultados utilizando recursos muitas vezes simples e alcançando tais exigências sem prejudicar o faturamento da empresa e principalmente aumentando a satisfação do cliente.

Desta forma, ao aplicar efetivamente estas ferramentas de confiabilidade, serão observados menores custos de projeto, os retrabalhos serão reduzidos e principalmente os chamados “*recall's*” minimizados uma vez que trazem grandes prejuízos financeiros as corporações.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de LEDs aplicados a medidores de energia elétrica por meio da técnica de Ensaio Acelerado de Vida.

Será avaliado o componente LED de dois fabricantes distintos, analisando qual apresenta melhor rendimento e menor custo. Serão utilizados estímulos de temperatura e umidade especificados na norma NBR 16078:2012. Esta norma especifica diversos níveis de estressamento, sendo neste caso utilizado o nível mais crítico da norma para a avaliação dos componentes LEDs (85°C e 87% Rh), uma vez que o objetivo final é aprovar ou reprovar os componentes em análise.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensaios de vida acelerada pelo período de 1000 horas em 24 amostras de medidores eletrônicos de energia elétrica utilizando os parâmetros da norma NBR 16078:2012;
- Avaliar através das ferramentas de confiabilidade o desempenho de 48 amostras de componentes LED do fabricante SUNLED que é montado no medidor e que foi submetido ao ensaio de vida acelerada pelo período de 1000 horas, com estímulos de temperatura e umidade;
- Avaliar através das ferramentas de confiabilidade o desempenho de 48 amostras de componentes LED do fabricante LIGITEK que é montado no medidor e que foi submetido ao ensaio de vida acelerada pelo período de 1000 horas, com estímulos de temperatura e umidade;
- Analisar os resultados apresentados após execução dos ensaios de vida acelerada para os dois fabricantes acima citados e propor (caso necessário) a substituição do fornecedor atualmente homologado por um fornecedor que apresente desempenho superior no ensaio de vida acelerada 1000 horas.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

No medidor eletrônico de energia elétrica, o mesmo componente LED que está sendo avaliado é inserido em circuitos eletrônicos, classificados com de baixa, média e alta importância para o produto.

A função de baixa importância do componente LED está relacionada a simples indicação de funcionamento do medidor, conhecido como *power-on*, onde que o LED permanece ligado e desligado a cada 1 segundo, sinalizando que o produto está em operação (energizado). Ao falhar o componente, não será comprometido o desempenho final medidor que é medir, registrar, indicar e transmitir a energia elétrica consumida para a central de processamento.

Já a função de média importância do componente LED está relacionada com a indicação de consumo de energia ativa ou reativa que está sendo detectada pelo medidor. Ao falhar o componente, não será comprometido o desempenho final medidor que é medir, registrar e transmitir a energia elétrica consumida para a central de processamento, porém não será possível aferir em laboratório o medidor em uma eventual necessidade, seja ela por reclamação do cliente ou suspeita de fraude por parte da concessionária de energia elétrica.

Por fim, a função de alta importância do componente LED está relacionada com a transmissão dos dados de consumo medidos e registrados pelo medidor, pois embora os dados estejam salvos em sua memória, os mesmos não poderão ser enviados a central de processamento. Assim, será comprometido o desempenho final da solução em que o medidor está acoplado, que é a transmissão dos dados remotamente para a central de processamento.

Deste modo, há a necessidade de se avaliar a confiabilidade deste componente LED, uma vez que ao ocorrer variações de fabricação significantes pelo fornecedor do componente, há a necessidade de se avaliar a homologação de outros fornecedores através de ensaios acelerados de vida.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta monografia é classificada como uma pesquisa científica aplicada com propósito explicativo, utilizando recursos de laboratório como câmaras climáticas para o estímulo de vida acelerada e software específico para análise de vida

acelerada dos componentes em análise. Também serão utilizadas pesquisas bibliográficas e análise de dados dos catálogos de fabricantes de componentes eletrônicos.

## 1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

Visando atingir os objetivos apresentados no item 1.4 desta monografia, a mesma está dividida em 7 capítulos, onde após a introdução sobre o tema no capítulo 1, o capítulo 2 descreve a funcionalidade dos componentes em análise no circuito eletrônico, os quais são o foco desta pesquisa. Em seguida uma rápida explicação sobre o que é um medidor eletrônico de energia elétrica e por fim a funcionalidade do componente LED no medidor.

O capítulo 3 apresentará o conceito de confiabilidade e suas principais ferramentas, a análise de dados de vida, e também o tema Ensaios de Vida Acelerada.

O capítulo 4 apresenta uma proposta de trabalho, os parâmetros do ensaio a ser executado bem como a quantidade de amostras ensaiadas, modelo de equipamentos utilizados, condições do ensaio e outros. Também serão apresentando os resultados dos ensaios executados e os gráficos obtidos ao analisar os dados de falha pelo software específico de confiabilidade.

O capítulo 5 apresenta o desenvolvimento e a análise concluída a partir da dos resultados obtidos no capítulo 4.

O capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e o capítulo 7 contém a proposta para trabalhos futuros. As referências bibliografias e os anexos desta monografia são mostrados no final.

## 2 COMPONENTE LED E O MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo será apresentado o componente eletrônico que está sendo avaliado (LED), suas aplicações e construção física. Em seguida será apresentando o medidor eletrônico de energia elétrica com suas principais funcionalidades e por fim, onde que o componente LED se enquadra no medidor de energia.

### 2.1 COMPONENTE LED (DIODO EMISSOR DE LUZ)

O diodo emissor de luz, mais conhecido como LED é um componente muito importante no mundo da eletrônica, onde que sua principal funcionalidade é a emissão de luz em diversas aplicações como sinalizadores de avisos, relógios digitais, transmissão de informação (comunicação ótica), imagens em uma tela de televisão ou lâmpadas incandescentes (BRAGA, 2012).

Simplificando, os LEDs nada mais são que pequenas lâmpadas com diversas cores de fácil integração com circuitos Elétricos, eletrônicos ou ambos, conforme figura 1 abaixo:

Figura 1 Exemplos de componentes LEDs em diversas cores



Fonte: O autor, 2015.

Tecnicamente o LED é um diodo semicondutor que quando energizado emite luz estreita que é produzida pelas interações energéticas do elétron. Tal processo é chamado de eletroluminescência. A luz emitida é monocromática, sendo a cor, portanto, dependente do cristal e da impureza de dopagem com que o componente é fabricado. Normalmente é encontrado um material condutor conhecido como arseneto de alumínio e gálio (AlGaAs) e quando dopado este material com fósforo, a emissão pode ser vermelha ou amarela, de acordo com a concentração. Já quando



o fosfeto de gálio é dopado de nitrogênio, a luz emitida pode ser verde ou amarela (SANTOS, 2006).

Com a redução do seu preço, seu alto rendimento e sua grande durabilidade, os LEDs se tornaram ótimos substitutos para as lâmpadas comuns, que consomem mais energia e são prejudiciais ao meio ambiente.

## **2.2 MEDIDOR DE ENERGIA ELÉTRICA**

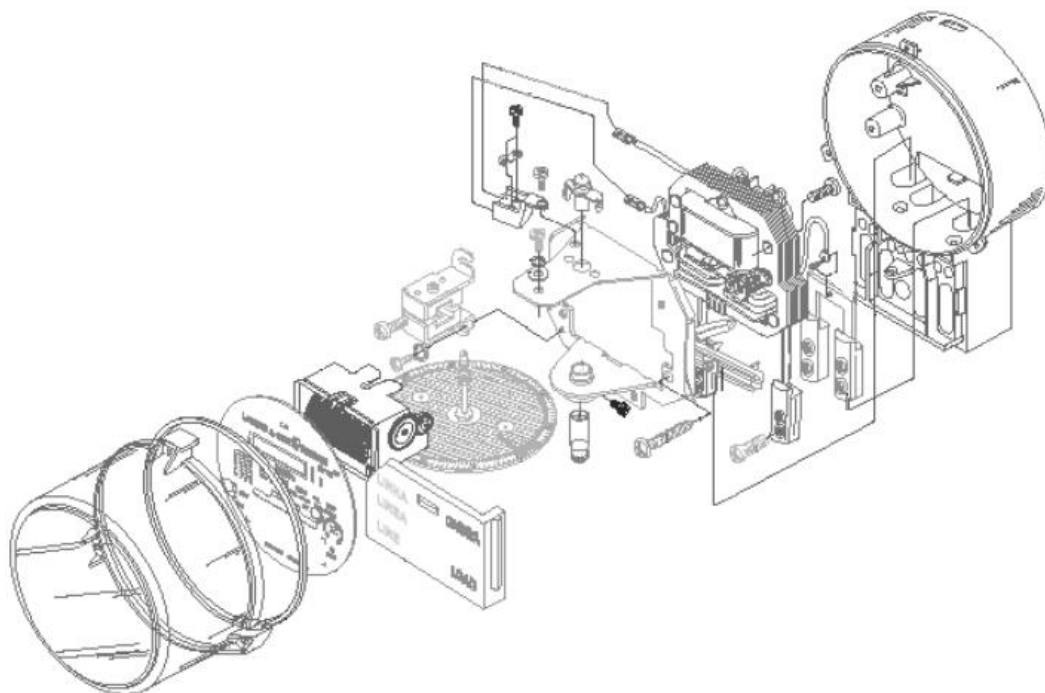
Os medidores de energia elétrica são equipamentos que realizam a aquisição e o registro da energia elétrica consumida de uma casa, comércio ou indústria, sendo este produto a principal forma adotada pelas concessionárias de energia elétrica para tarifação dos usuários da rede elétrica, podendo ser dividido em duas categorias: eletromecânicos e eletrônicos.

### **2.2.1 MEDIDOR ELETROMECÂNICO**

Os primeiros medidores eletromecânicos surgiram efetivamente em meados de 1881 com Thomas Edison o qual se chamava se chamava Medidor de Watt-Hora Químico e que funcionava através de um princípio eletroquímico, mas por ser um medidor com funcionamento complicado, devido à complexidade da “medição”, logo se tornou obsoleto e ineficiente.

Em 1889 Thomson, aplicando o princípio da indução demonstrado por Galileo Ferraris em 1885, onde dizia “O fluxo magnético produzido por duas bobinas, agindo sobre um motor metálico, produzem uma força, que o faz girar”, desenvolveu o mais notável medidor dos primeiros tempos, o Wattímetro registrador. Em 1894 Shallemberger desenvolveu o primeiro medidor exclusivamente para corrente alternada e em 1896 projetou o primeiro medidor polifásica, que tinha dois elementos e um disco. Em 1896 Davis e Conrad patentearam o primeiro medidor polifásico de discos múltiplos, eliminando assim problemas de intermitência da configuração monodisco. E em 1903 a história da medição sofreu nova mudança, quando W. H. Pratt desenvolveu o medidor de indução tipo I, e todos os medidores eletromecânicos posteriores e conhecidos atualmente são aperfeiçoamentos deste tipo clássico, conforme figura 2 abaixo:

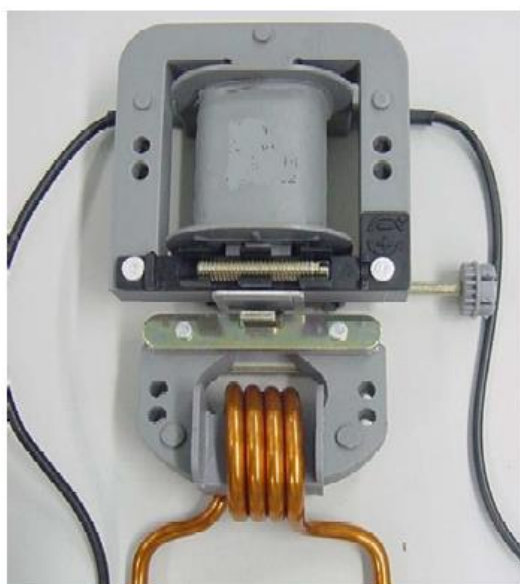
Figura 2 Vista explodida de um medidor eletromecânico



Fonte: LANDIS+GYR, 2006.

A base do funcionamento do medidor eletromecânico é a indução, onde o disco é montado entre duas bobinas (corrente e tensão) e estas produzem um fluxo magnético proporcional a corrente e tensão consumida, respectivamente, produzindo desta forma campos magnéticos que induzem corrente sobre o disco, fazendo o mesmo girar (GE, 1990).

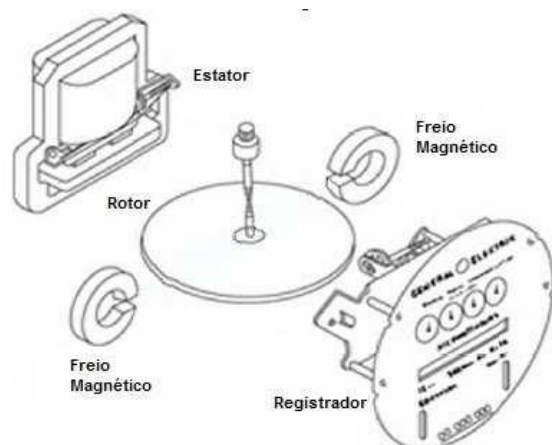
Figura 3 Bobinas de tensão e corrente de um medidor eletromecânico



Fonte: Rafael Esteves, 2013.

A disposição destas bobinas é calculada de forma que a força por elas produzida sobre o eixo seja proporcional ao produto da tensão e corrente. Quando o disco gira, o ímã permanente (freio magnético) produz uma força oposta proporcional à velocidade do disco, isso porque se o freio não existisse o disco aceleraria constantemente, enquanto houvesse a presença do fluxo magnético, e isso impossibilitaria a medição de energia, desta forma o disco gira em uma velocidade proporcional a potencia consumida. (GE, 1990; GE, 1986 e LANDIS+GYR, 2006).

Figura 4 Partes internas de um medidor eletromecânico



Fonte: Adaptado de GE, 1986.

Junto a esta estrutura de medição da energia é montado um registrador junto ao eixo do disco, o qual possui engrenagens devidamente calculadas para converter e registrar a energia consumida no circuito onde o medidor esta instalado, conforme figura 5 abaixo:

Figura 5 Registrador de consumo do medidor eletromecânico



Fonte: Rafael Esteves, 2013.

## 2.2.2 MEDIDOR ELETRÔNICO

No começo deste século, a medição eletromecânica já estava em nível de maturidade altíssimo, enquanto a medição eletrônica estava apenas começando. Mas os aspectos positivos da medição eletrônica logo se tornaram um diferencial dos medidores eletromecânicos, como melhor classe de exatidão, medição quatro quadrantes, comunicação, multifuncionalidade, medição de grandezas como corrente e tensão, monitoramento de alarmes (ESTEVEES, 2015).

Desta forma, com a entrada da medição eletrônica, toda uma nova história estava sendo escrita, já que se tratava de produtos inteiramente novos, com projetos totalmente novos, cuja única semelhança com os medidores eletromecânicos era a função básica do produto: medição de energia elétrica. Desta forma, novos territórios estavam sendo descobertos (ESTEVEES, 2015).

De acordo com Fábio Toledo (2012), para realizar a medição de tensão nos medidores eletrônicos normalmente são utilizados circuitos com associação de resistores (divisor resistivo) geralmente utilizando resistores de precisão. Já para realizar a medição de corrente, são usualmente utilizados transformadores de correntes com resistores Shunts ou até mesmo sensores de efeito Hall.

Desta forma, amostrado o proporcional da tensão e a corrente que está sendo consumido, é possível realizar o produto destes dois fatores pelo tempo para a determinação da potência e por consequência a energia consumida, conforme figura 6 abaixo:

Figura 6 Fórmula para o cálculo da energia consumida por uma UC

$$Energia = Potencia \times tempo = V \times I \times \Delta t$$

Onde:

V = é a tensão da rede elétrica;

I = corrente consumida pela carga (UC - unidade consumidora);

$\Delta t$  = intervalo de tempo;

Fonte: Sadiku, 2005.

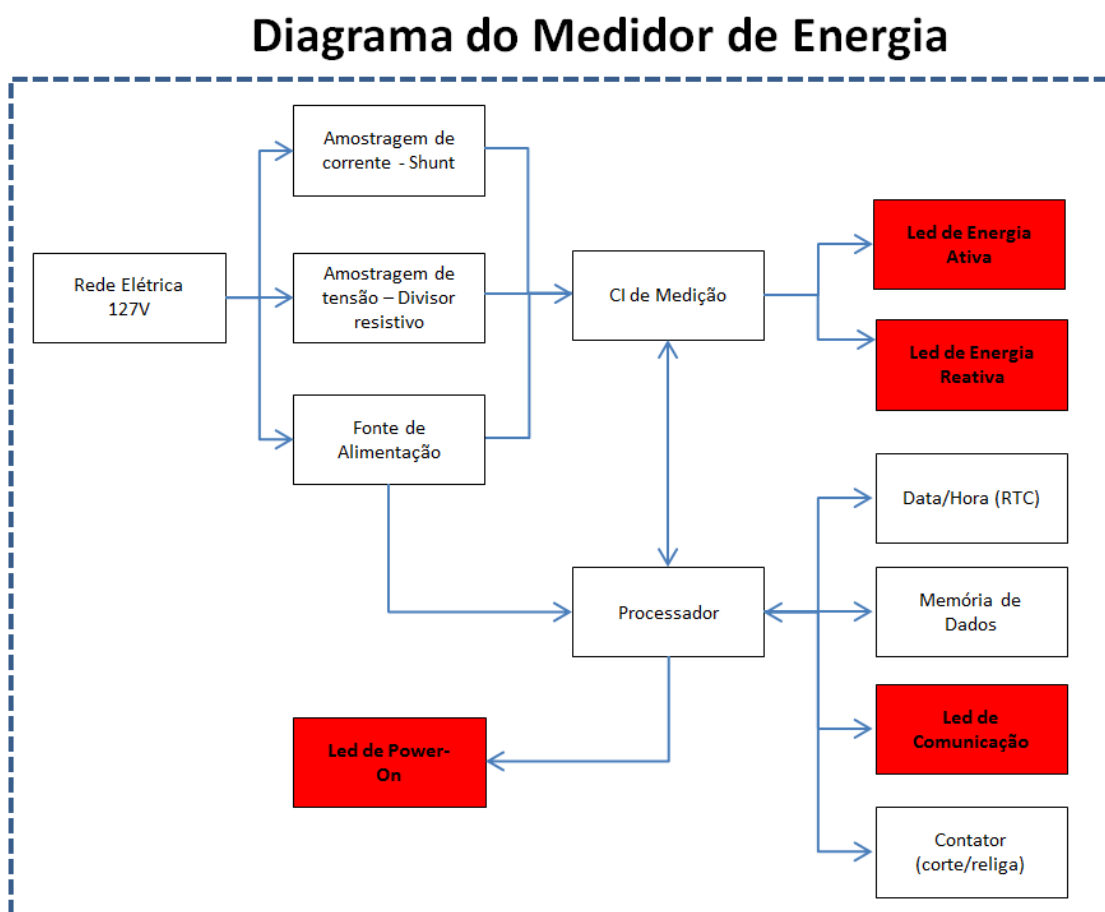
Existem várias arquiteturas de medidores de energia elétrica disponíveis no mercado, com modelos de mais baixo custo os quais são dotados apenas de uma unidade de processamento, normalmente um microcontrolador ou um processador

digital de sinais (DSP) para assim realizar as funções de um medidor, uma fonte, display e LEDs de indicação de consumo (energia ativa e reativa). Já os modelos mais complexos possuem circuitos específicos como memórias, funções antifraude, interface humano-computador, gerenciamento de comunicação e outros.

### 2.3 FUNÇÃO DO LED NO MEDIDOR ELETRÔNICO DE ENERGIA

O medido de energia elétrica utilizado neste estudo utiliza em seu circuito eletrônico 4 componentes LEDs que desempenham funções de indicação de estado e comunicação. Na figura 7 abaixo é apresentando o diagrama de bloco do medidor em estudo e a respectiva localização cada LED no circuito:

Figura 7 Diagrama de blocos do medidor eletrônico de energia elétrica



Fonte: O autor, 2015.

Abaixo é apresentando um pequeno descritivo da função que cada componente LED desempenha no circuito eletrônico do medidor de energia elétrica:

- **LED DE INDICAÇÃO DE ENERGIA ATIVA:** Esta é uma grandeza que o medidor registra e indica no componente LED. Neste caso, quando a unidade consumidora (casa, por exemplo) consome exatos 1 (um) Watt-hora (1Wh), o firmware do medidor envia um pulso para o componente LED, o qual acende e apaga para indicar que houve o registro de energia ativa no medidor.
- **LED DE INDICAÇÃO DE ENERGIA REATIVA:** Esta é uma grandeza que o medidor registra e indica no componente LED. Neste caso, quando a unidade consumidora (casa, por exemplo) consome exatos 1 (um) Volt-ampere reativo hora (1Varh), o firmware do medidor envia um pulso para o componente LED, o qual acende e apaga para indicar que houve o registro de energia reativa no medidor.
- **LED DE INDICAÇÃO DE POWER-ON:** Tem por objetivo indicar que o medidor está em funcionamento, ligando e apagando o LED a cada 1 segundo.
- **LED DE INDICAÇÃO DE COMUNICAÇÃO:** Tem por objetivo realizar a comunicação entre o medidor e a central remota, via comunicação ótica.

### **3 TEORIA DE CONFIABILIDADE**

Segundo a norma NBR 5462 (ABNT), confiabilidade pode ser definida como “A capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições específicas, durante um dado intervalo de tempo”. Com o auxílio desta definição é necessário detalhar neste tópico o assunto Análise de Dados de Vida, com seus principais conceitos e sobre Ensaio de Vida Acelerada, tema base para o trabalho realizado.

#### **3.1 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA**

##### **3.1.1 Conceitos básicos**

###### **Ensaio de Confiabilidade**

Experimento efetuado para se medir, quantificar ou classificar a medida da confiabilidade ou propriedade de um item (NBR 16078:2012).

###### **Funcionalidade**

Característica inerente de um produto relacionada à sua habilidade de executar uma função específica de acordo com requerimentos específicos sob condições específicas de operação, em outras palavras são as características para as quais o produto foi projetado (MARIANO, 2012).

###### **Falha**

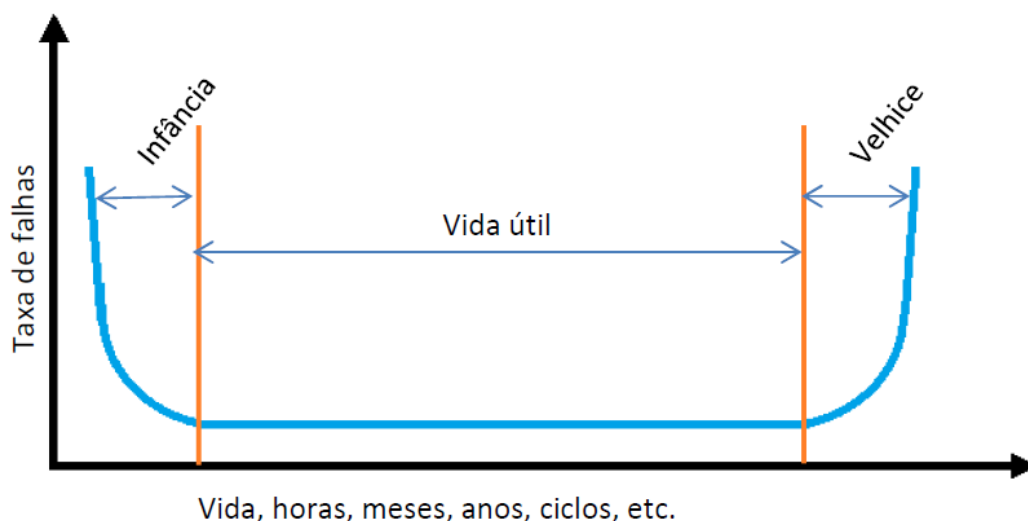
Término da capacidade de um item de realizar uma função requisitada (NBR 16078:2012).

###### **Taxa de falhas**

É a chance de um componente, produto ou sistema falhar na próxima menor unidade de tempo, dado que o item funcionou até então (RELIASOFT, 2011).

A curva da banheira (como é conhecida) representa este comportamento característico da taxa de falha de produtos ao longo de sua vida, conforme figura 8 abaixo:

Figura 8 Curva característica de taxa de falhas (curva da banheira)



Fonte: REALIASOFT, 2011.

Nota: Conhecida como “Curva da banheira”.

### 3.1.2 Conceitos estatísticos

#### Variáveis Aleatórias

A maioria dos problemas encontrados em confiabilidade é de natureza quantitativa ou qualitativa. Por quantitativa temos o exemplo do tempo para falhar de um produto, e para qualitativa temos o caso se um produto é defeituoso ou não-defeituoso. Desse modo, podemos utilizar uma variável aleatória  $X$  para denotar essas possíveis medidas (RELIASOFT, 2003).

No caso da variável  $X$  ser o tempo para falhar, ela pode assumir infinitas possibilidades do tempo zero até infinito. O produto pode ser encontrado em um estado de falha a qualquer tempo a partir do tempo zero. Quando isso acontece, a variável aleatória é classificada como variável aleatória contínua (RELIASOFT, 2003).

No caso de um produto ser julgado como defeituoso ou não-defeituoso, temos apenas dois resultados possíveis, isto é, a variável pode assumir apenas os valores zero e um. Quando isso acontece, classificamos a variável aleatória como variável aleatória discreta (RELIASOFT, 2003).

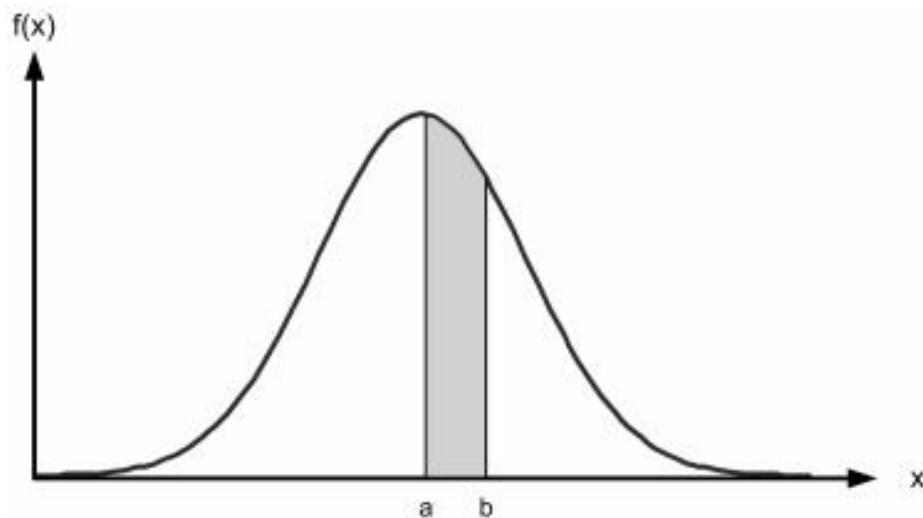


## Função Densidade Probabilidade e Função de Distribuição Acumulada

A função densidade de probabilidade, PDF (probability density function), representada como  $f(x)$  na figura 9, e a função de distribuição acumulada, CDF (cumulative distribution function), representada como  $F(x)$  na figura 10, são duas das mais importantes funções estatísticas aplicadas na confiabilidade, sendo ambas intimamente relacionadas. Quando estas funções são conhecidas, praticamente todas as medidas de confiabilidade podem ser obtidas (REALIASOFT, 2003). Se  $X$  é uma variável aleatória contínua, a função densidade de probabilidade de  $X$  é uma função  $f(x)$ , de tal forma que para dois números  $a$  e  $b$ , onde  $a < b$ , temos:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) \cdot dx$$

Figura 9 Exemplo de um função densidade de probabilidade (PDF)



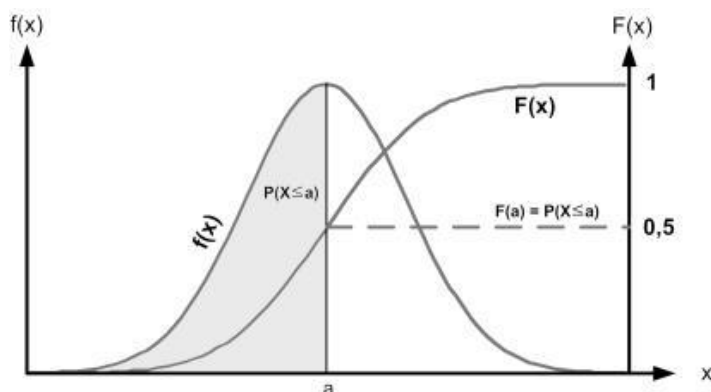
Fonte: REALIASOFT, 2003.

Nota: Conhecida PDF.

A CDF é o valor da área formada pela função densidade de probabilidade, até o valor  $X$  desejado, sendo que  $x$  varia de  $-\infty$  a  $+\infty$  e a área total embaixo da curva de PDF é igual a 1.

$$Pdf - f(X) = \frac{d(F(X))}{dX} \qquad Cdf - f(X) = \int_{-\infty}^x f(X) dx$$

Figura 10 Relação entre PDF x CDF



Fonte: REALIASOFT, 2011.

### 3.1.3 Modelos de distribuições

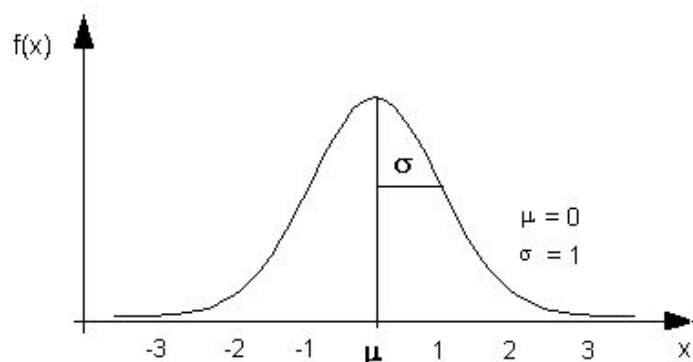
#### Distribuição Normal

É uma das distribuições de probabilidade mais comuns e importante na estatística, pois um grande número de casos pode ser estudado através desta distribuição. A equação que representa a PDF da distribuição normal é:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

É uma distribuição de dois parâmetros, onde  $\mu$  é a média e  $\sigma$  é o desvio padrão. Neste caso a média é igual à mediana que é igual à moda, sua forma não se altera, ou seja, ela não possui um parâmetro de forma, sua forma é sempre de um sino simétrico, conforme figura 11 e sua curva é conhecida como Curva de Gauss (GUIMARÃES, 2012).

Figura 11 Exemplo de uma distribuição Normal



Fonte: UFPA, 2011.

## Distribuição Log-Normal

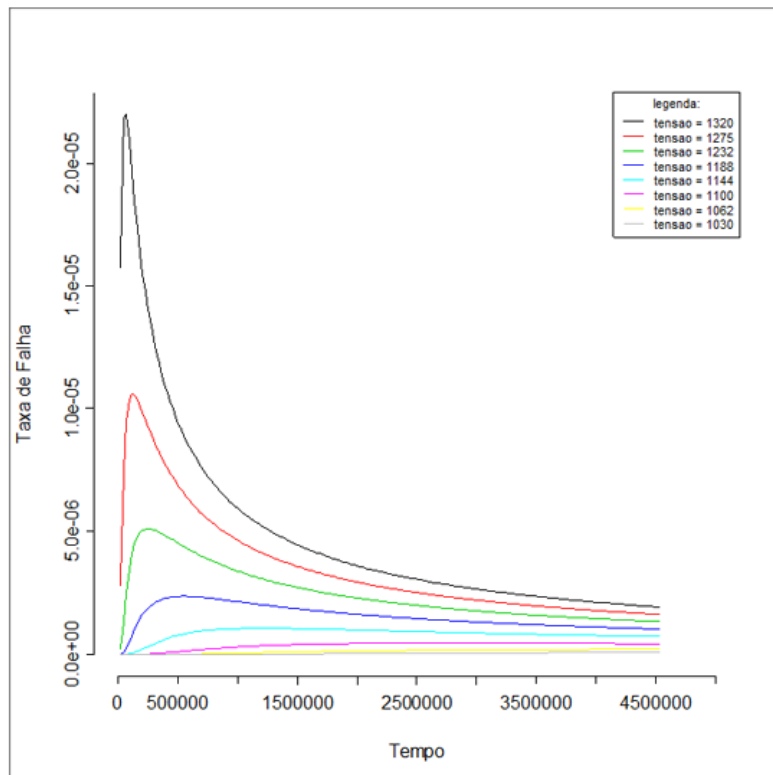
Uma variável aleatória é distribuída log-normal se o logaritmo da variável aleatória for normalmente distribuído, a PDF é dada por:

$$f(T') = \frac{1}{\sigma' \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{T' - \mu'}{\sigma'} \right)^2}$$

É uma distribuição de dois parâmetros, onde  $\mu'$  é a média do logaritmo natural dos tempos e  $\sigma$  é o desvio-padrão do logaritmo natural dos tempos.  $T'$  é o logaritmo natural dos tempos (GUIMARÃES, 2012).

Enquanto a distribuição normal é simétrica, a log-normal é deslocada positivamente, conforme figura 12 abaixo:

Figura 12 Exemplo de uma distribuição Log-normal



Fonte: Portal Action, 2008.

## Distribuição Exponencial

É uma distribuição muito utilizada devido a sua simplicidade, conforme figura 13. Nos casos de análise de dados de vida a distribuição exponencial é utilizada para descrever itens que falham com taxa de falha constante (GUIMARÃES, 2012). A equação que representa a PDF da distribuição exponencial é:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} = \frac{1}{m} e^{-\frac{1}{m}t}$$

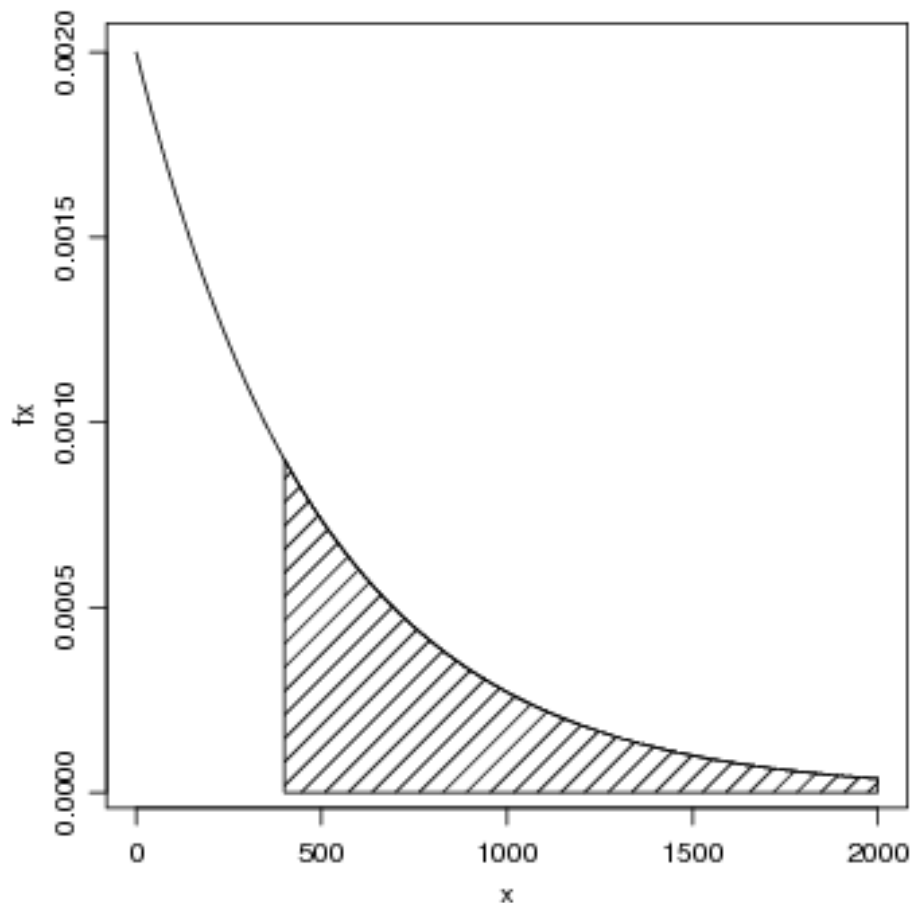
Onde:

$\lambda$  = taxa de ocorrências (taxa de falhas)

$m$  = média entre as ocorrências

$t$  = variável de tempo

Figura 13 Exemplo de uma distribuição Exponencial



Fonte: UFPR, 2009.

## Distribuição Weibull

A distribuição Weibull é uma das distribuições mais comumente usadas na Engenharia da Confiabilidade. Ela pode ser usada para modelar resistência de materiais, dados de tempo até falhar de componentes eletrônicos e mecânicos, equipamentos ou sistemas (ABNT, 2012).

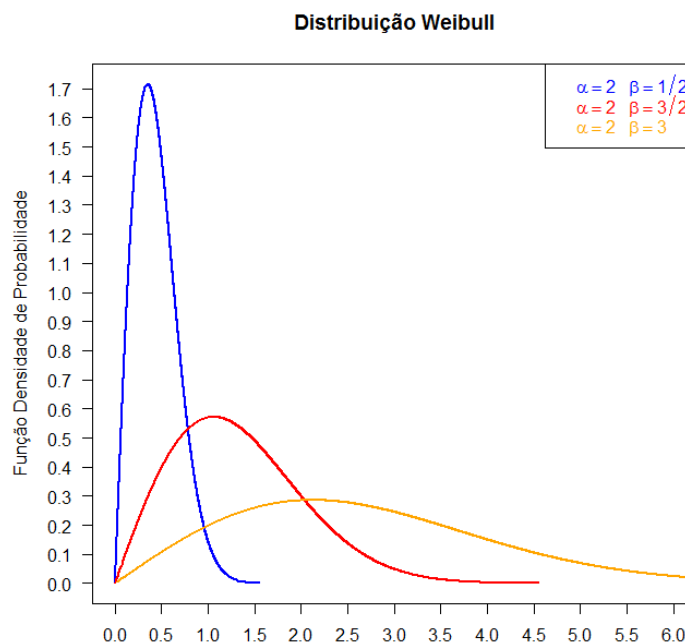
$$f(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

O parâmetro de forma da distribuição ( $\beta$ ) dá a inclinação da função de não confiabilidade, quando a mesma é representada em um papel de probabilidade Weibull (ABNT, 2012). A equação que representa a PDF da distribuição Weibull é:

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

Com  $t \geq \gamma$ ,  $\beta > 0$ ,  $\eta > 0$ ,  $-\infty < \gamma < +\infty$ , onde:  $\beta$  é o parâmetro da forma,  $\eta$  é a característica de vida útil Weibull ou o parâmetro de escala,  $t$  é o tempo (de operação) para a falha em horas,  $\gamma$  é o parâmetro de localização em horas. Quando  $\gamma \neq 0$ , falhas não podem ocorrer entre 0 e  $\gamma$  horas (probabilidade de falha é igual a 0 de 0 a  $\gamma$  horas) (ABNT, 2012). Na figura 14 abaixo segue exemplo de uma distribuição Weibull:

Figura 14 Exemplo de uma distribuição Weibull



Fonte: Portal Action, 2009.

## Fator de aceleração – Arrhenius

Admitindo  $tu$  como sendo o tempo de falha de um produto em condições de temperatura normal de utilização  $Tu$ , e  $ts$  o tempo de falha de um produto em estresse de temperatura  $Ts$ , o fator de aceleração Arrhenius é dado por:

$$AF = \frac{L(Tu)}{L(Ta)} = e^{-\frac{Ea}{K} \left( \frac{1}{Ta} - \frac{1}{Tu} \right)}$$

O modelo de aceleração de temperatura Arrhenius pode ser aplicado para a difusão em estado sólido, reações químicas, corrosão, mecanismos semicondutores, vida da bateria e etc. O valor de  $Ea$  (energia de ativação) depende do mecanismo de falha e dos materiais envolvidos e tipicamente varia de 0,3 a 1,5 eV (ABNT, 2012).

### 3.2 ENSAIO DE VIDA ACELERADA

Segundo Nelson (2005), ensaio acelerado de vida consiste em estimar a vida ou degradação do produto sob condições específicas e controladas que representem as condições normais de uso com o menor tempo de execução.

A maioria dos produtos são projetados para operar por longos períodos de tempo sem falhar. Assim, ao realizar ensaios em condições normais de uso, é esperado que poucas unidades falhem, fato que aumenta a incerteza na estimativa da confiabilidade (MIZUNO, 2010).

Desta forma, em um ensaio de vida acelerada, busca-se reduzir o tempo de ocorrência de falhas do equipamento ou produto, sem se alterar os modos de falha. A partir dos resultados destes ensaios, e empregando-se técnicas de extrapolação de resultados, baseadas não só em modelos matemáticos, mas também nos fenômenos físicos associados aos modos de falhas, pode-se definir a confiabilidade na sua condição normal de uso. Por isso, ensaios acelerados de vida são largamente utilizados em produtos onde o tempo disponível para realização de ensaio é muito curto quando comparado ao tempo de vida esperado para o produto em campo (FELIX, 2006).

Estes ensaios são particularmente utilizados para se obter informações da confiabilidade de componentes, proporcionando a possibilidade de uma identificação

e remoção antecipada dos modos de falha, melhorando assim a confiabilidade ainda na fase de desenvolvimento do produto (MIZUNO, 2010).

As vantagens dos ensaios acelerados, além do tempo de execução e custo reduzido, são a comodidade da coleta dos dados, pois os ensaios são realizados em laboratório, e a certeza de que amostras podem ser submetidas comparativamente às mesmas condições, o que é muito difícil de garantir quando o ensaio é baseado na análise do desempenho em campo (MIZUNO, 2010).

Resumidamente, estes ensaios acelerados como o próprio nome diz “aceleram” através de estímulos como temperatura, umidade, pressão, vibração, e outros a vida útil de um produto em um intervalo de tempo muito curto.

### **3.2.1 Modelo Estresse-Vida (Relação de Arrhenius e Eyring)**

O modelo estresse-vida quantifica a maneira como a distribuição de vida varia para diferentes níveis de estresse. A combinação de uma distribuição de vida subjacente e um modelo estresse-vida com os dados de tempo até falhar obtidos em diferentes níveis de estresse, fornecerá uma estimativa das características em condições normais de uso (ABNT, 2012). Os modelos de estresse-vida mais comumente usados são: Relação de Arrhenius e Relação de Eyring.

## 4 DESENVOLVIMENTO

### 4.1 PROPOSTA

A proposta do trabalho, de acordo com o objetivo definido no item 1.4, é a avaliação do comportamento do componente LED de dois fabricantes distintos através de ensaios de vida acelerada, analisando estatisticamente os dados resultantes destes ensaios e apresentando uma proposta de alteração do fabricante que apresentar defeito no ensaio.

Para isso será aplicado o ensaio de vida acelerada conforme já definido anteriormente, utilizando alguns conceitos da norma NBR 16078:2012 a qual define os parâmetros a serem utilizados para aceleração de medidores de energia elétrica.

Os dados coletados para os dois fabricantes do componente LED serão tratados estatisticamente com o auxílio do software Weibull++7 do fabricante Reliasoft.

### 4.2 PARÂMETROS DE ENSAIO

Neste item serão detalhadas as quantidades de amostras a serem ensaiadas, os ensaios a serem aplicados nos medidores a cada 250 horas, o modelo da câmara climática a ser utilizada no ensaio, as condições de execução do ensaio de vida acelerada e por fim os resultados encontrados após a aplicação do ensaio.

#### 4.2.1 Quantidade de amostras de medidores / componentes

Inicialmente foram separadas 24 amostras de medidores eletrônicos de energia elétrica, sendo que 12 amostras continham LEDs do fabricante SUNLED e 12 amostras com LEDs do fabricante LIGITEK, conforme descrito abaixo:

Amostras fabricante: SUNLED

- Quantidade total de componentes LED: 4 pçs x 12 amostras: 48 pçs

Amostras fabricante: LIGITEK

- Quantidade total de componentes LED: 4 pçs x 12 amostras: 48 pçs



#### 4.2.2 Características técnicas do componente LED em análise

Fabricante: SUNLED (Quadro 1)

- **Fabricante:** SUNLED
- **Descrição:** LED PTH SINGLE COLOR RED GAAS 3MM
- **Código do componente:** XLMR11WD

Quadro 1 – Dados técnicos do componente LED do fabricante SUNLED

Part Number	Emitting Color	Emitting Material	Lens-color	Intensity (IF=20mA) mcd		Wavelength nm $\lambda$ P	Viewing Angle $2\theta$ 1/2
				min.	typ.		
XLMR11WD	Red	GaAlAs	Water Clear	480	597	660	34°

Fonte: Dados retirados do catálogo (Datasheet) do fabricante SUNLED, 2015.

Fabricante: LIGITEK (Quadro 2)

- **Fabricante:** LIGITEK
- **Descrição:** LED PTH ULTRA BRIGHT RED 30mA - 3mm
- **Código do componente:** LUR2043-PF

Quadro 2 – Dados técnicos do componente LED do fabricante LIGITEK

PART NO	MATERIAL	COLOR		Peak wave length $\lambda$ Pnm	Spectral halfwidth $\Delta \lambda$ nm	Forward voltage @20mA(V)		Luminous intensity @20mA(mcd)		Viewing angle $2\theta$ 1/2 (deg)
		Emitted	Lens			Min.	Max.	Min.	Typ.	
LUR2043-PF	GaAlAs	Red	Water Clear	660	20	1.5	2.4	900	1100	30

Fonte: Dados retirados do catálogo (Datasheet) do fabricante LIGITEK, 2015.

#### 4.2.3 Localização dos LEDs para verificação de funcionamento

Será avaliado o desempenho das 96 amostras de componentes LEDs dos fabricantes SUNLED e LIGITEK a cada 250 horas de ensaio até completar 1000 horas, designados conforme nomenclatura abaixo:

- 1) Led de energia Ativa
- 2) Led de energia Reativa
- 3) Led de Power-on
- 4) Led de Comunicação

#### 4.2.4 Modelo de câmara climática utilizada no ensaio

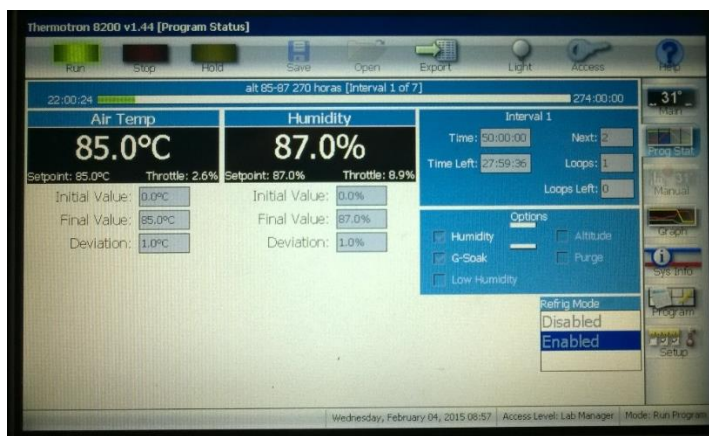
Durante a realização do ensaio foi utilizada uma câmara climática com controle de temperatura e umidade do fabricante Thermotron modelo SM-32 a qual é possível aplicar temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$  e umidade de 0% a 100%, com opções de entrada de cabeamento externo de tensão e corrente para energizar os medidores a serem avaliados, conforme figuras 15 e 16 abaixo:

Figura 15 Câmara climática utilizada no ensaio



Fonte: Fabricante Thermotron, 2015.

Figura 16 Display da câmara climática com informações do ensaio



Fonte: Fabricante Thermotron, 2015.

#### 4.2.5 Condições ao longo do ensaio

Ao longo do ensaio serão aplicados os parâmetros referente a temperatura, umidade, tensão, corrente, tempo de ensaio, temperatura/umidade de uso e energia de ativação ( $E_a$ ) conforme definido na norma NBR 16078:2012. Segue abaixo os parâmetros específicos:

a) Tempo de ensaio

O tempo total do ensaio será de 1000 horas para todas as amostras, divididos em 4 ciclos de 250 horas para avaliação dos componentes.

b) Corrente de ensaio

A corrente a ser aplicada nos medidores será de 10% (10A) da corrente máxima do medidor (100A).

c) Tensão de ensaio

A tensão de ensaio será de 127VAC, conforme rede elétrica da concessionária.

d) Temperatura de ensaio

A temperatura de ensaio é  $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

e) Umidade de ensaio

A umidade de ensaio é  $87\% \pm 3\%$  de umidade relativa.

f) Temperatura de uso

Condição de Uso do equipamento:  $30^{\circ}\text{C} - 303\text{ K} (+/- 1^{\circ}\text{C})$

g) Umidade de uso

A umidade de uso é  $65\% \pm 3\%$  de umidade relativa.

h) Energia de Ativação Típica

Será utilizada energia de ativação ( $E_a$ ) típica de 0,9 eV.

### 4.3 RESULTADOS APÓS ENSAIO DE VIDA ACELERADA

Será apresentado o resultado do ensaio de vida acelerada após 250 horas, 500 horas, 750 horas e 1000 horas para as 96 amostras de componentes LED do fabricante SUNLED e LIGITEK.

#### Resultados fabricante SUNLED (Quadro 3)

Quadro 3 – Resultados dos ensaios acelerados do fabricante SUNLED

<b>FABRICANTE LED: SUNLED</b>										
Verificação de funcionamento	0 horas		250 horas		500 horas		750 horas		1000 horas	
	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK
<b>Led de energia Ativa</b>	12	<b>0</b>	10	<b>2</b>	8	<b>2</b>	7	<b>1</b>	6	<b>1</b>
<b>Led de energia Reativa</b>	12	<b>0</b>	9	<b>3</b>	7	<b>2</b>	6	<b>1</b>	6	<b>0</b>
<b>Led de Power-on</b>	12	<b>0</b>	10	<b>2</b>	10	<b>0</b>	9	<b>1</b>	8	<b>1</b>
<b>Led de Comunicação</b>	12	<b>0</b>	11	<b>1</b>	10	<b>1</b>	9	<b>1</b>	9	<b>0</b>

Fonte: O Autor, 2015.

Legenda: OK, sem falha o componente; **NOK**, com falha o componente.

#### Resultados fabricante LIGITEK (Quadro 4)

Quadro 4 – Resultados dos ensaios acelerados do fabricante LIGITEK

<b>FABRICANTE LED: LIGITEK</b>										
Verificação de funcionamento	0 horas		250 horas		500 horas		750 horas		1000 horas	
	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK	OK	NOK
<b>Led de energia Ativa</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	11	<b>0</b>	11	<b>1</b>
<b>Led de energia Reativa</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>
<b>Led de Power-on</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>1</b>	11	<b>0</b>
<b>Led de Comunicação</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>	12	<b>0</b>

Fonte: O Autor, 2015.

Legenda: OK, sem falha o componente; **NOK**, com falha o componente.

#### 4.4 CÁLCULOS, CONFIGURAÇÃO E INSERÇÃO DE DADOS NO SW

Durante a análise será utilizado um software específico de confiabilidade para auxílio nos cálculos estatísticos e geração de gráficos, sendo convertida a quantidade de horas aceleradas para o proporcional de campo, conforme cálculo do fator de aceleração do item 4.4.1, sendo consideradas as falhas nos componentes LEDs dos fabricantes SUNLED e LIGITEK, conforme quadros 3 e 4 acima. No quadro 5 abaixo se encontra o resumo dos dados de falha e suspensões a serem inseridos no software de confiabilidade:

Quadro 5 – Resumo dos dados de falha a serem inseridos no software

Fabricante	Quantidade de Amostras	Quantidade de falhas	Suspensões
SUNLED	48	19	29
LIGITEK	48	2	46

Fonte: O Autor, 2015.

Obs.: Os detalhes do quadro 5 acima (momento da falha (tempo), quantidade de falhas e local da falha) serão inseridos no software conforme item 4.4.3 abaixo.

##### 4.4.1 Cálculo do fator de aceleração

Para realizar a conversão entre as horas de ensaio acelerado e o proporcional de campo, um dos parâmetros é o fator de aceleração (FA), sendo possível determiná-lo através do fator de aceleração que é conhecido pela norma NBR 16078:2012. Abaixo será apresentando os cálculos para a determinação do fator de aceleração:

Como estamos utilizando apenas um único nível de estresse introduzido, foi necessário calcular o fator de aceleração através da equação abaixo:

$$L(T) = Ae^{-\left(\frac{Ea}{K \times T}\right)}$$

Onde:

- $L(T)$  é a vida a uma Temperatura  $T$ ;
- $T$  é a temperatura dada em Kelvin;
- $Ea$  é a energia de ativação;
- $K$  é a constante de Boltzman ( $8,617 \times 10^{-5}$ );
- “ $e$ ” é o número de Euler cujo valor é aproximadamente 2,718

Então, se a temperatura de condição de uso é  $T_u$  e a temperatura acelerada é  $T_a$ , então o fator de aceleração (FA) pode ser calculado por:

$$AF = \frac{L(T_u)}{L(T_a)} = e^{-\frac{E_a}{K} \left( \frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_u} \right)}$$

Assim, temos:

$E_a = 0,9 \text{ eV}$

$T_a = 85^\circ\text{C} (358,15\text{K})$

$T_u = 30^\circ\text{C} (303,15\text{K})$

$K = \text{constante de Boltzman } (8,617 \times 10^{-5})$

“e” = número de Euler cujo valor é aproximadamente 2,718

Aplicando a fórmula temos:

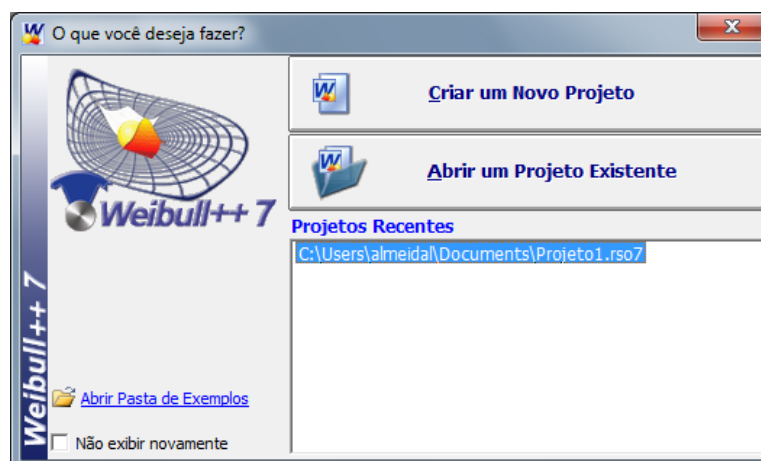
$$AF = e^{-\frac{0,9}{8,617 \times 10^{-5}} \left( \frac{1}{358,15} - \frac{1}{303,15} \right)} = 198,51 \text{ horas} = \sim 198 \text{ horas}$$

**Resumo do cálculo obtido:** 1 hora de ensaio acelerado é o equivalente a aproximadamente 198 horas à condição de uso (campo).

#### 4.4.2 Configurações do software de confiabilidade

Ao entrar no software de confiabilidade, é exigido a tela abaixo, devendo-se selecionar um novo projeto, conforme figura 17 abaixo:

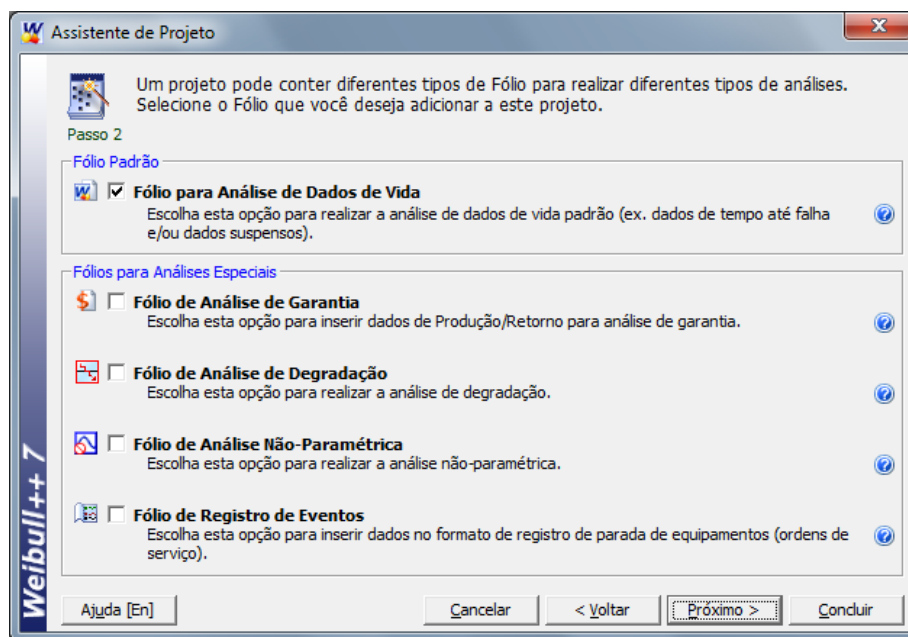
Figura 17 Tela de criação de um novo projeto no software



Fonte: O autor, 2015.

Em seguida deve ser selecionado o “Fólio para Análise de Dados de Vida” padrão, conforme figura 18 abaixo:

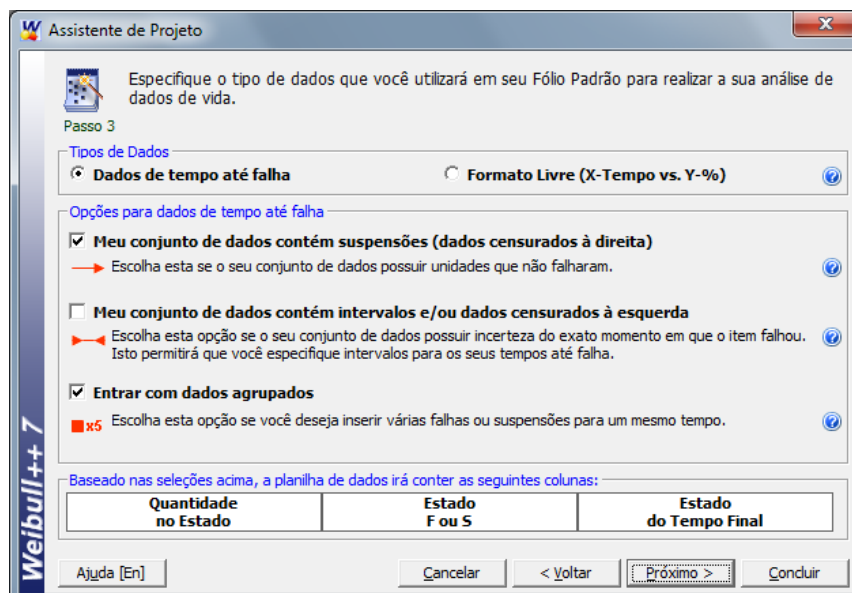
Figura 18 Fólio padrão no software para análise de dados de vida



Fonte: O autor, 2015.

Por fim, deve ser selecionado o tipo do dado a ser inserido, que neste caso são “dados de tempo até a falha” com a possibilidade de “dados censurados à direita (com suspensões)”, clicando em concluir conforme figura 19 abaixo:

Figura 19 Tipos e opções de dados de entrada no software

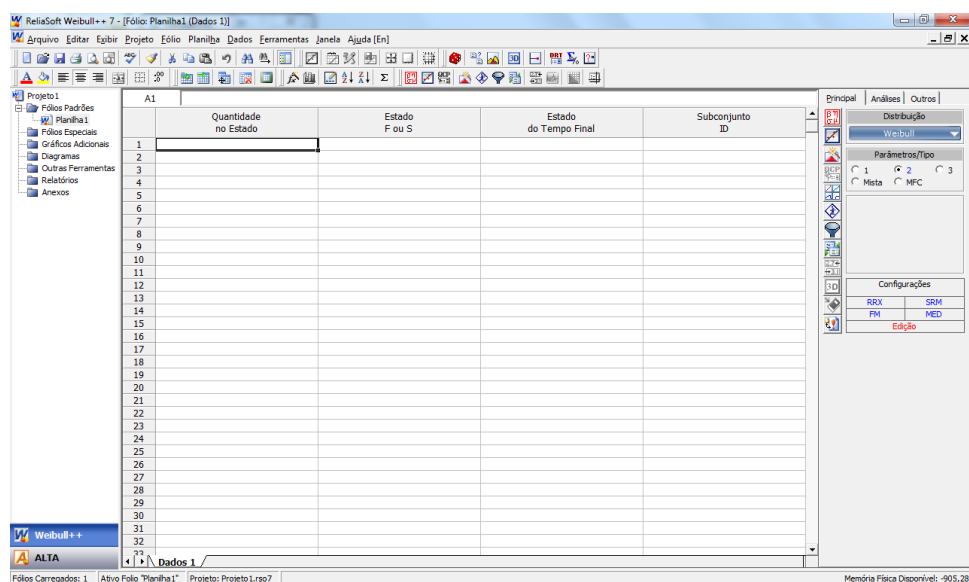


Fonte: O autor, 2015.

#### 4.4.3 Dados de entrada no software de confiabilidade

Após as devidas configurações realizadas no item 4.4.2 acima, ao inicializar o programa é exibido a tela inicial conforme figura 20 abaixo:

Figura 20 Página inicial no software após configurações iniciais



Fonte: O autor, 2015.

Com o auxílio do fator de aceleração calculado no item 4.4.1 (198 horas), foi realizada a conversão entre as horas de ensaio acelerado com o proporcional de campo, conforme quadro 6 abaixo:

Quadro 6 – Proporcional de horas de ensaio acelerado x horas de campo

TEMPO	MESES			
TEMPO DE ENSAIO ACELERADO (HORAS)	250h	500h	750h	1000h
TEMPO DE ENSAIO ACELERADO (MESES)	0,35	0,69	1,04	1,39
TEMPO EQUIVALENTE EM CAMPO (MESES)	69	138	206	275

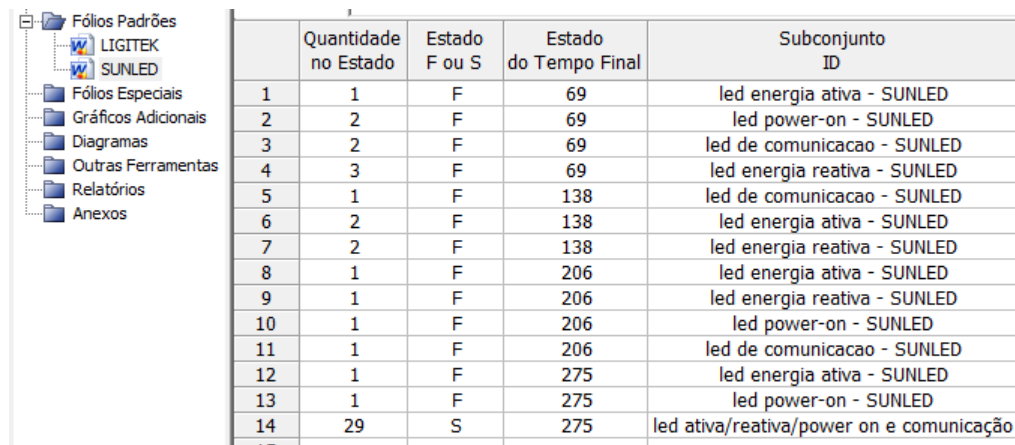
Fonte: O Autor, 2015.

Deste modo, os dados dos fabricantes SUNLED e LIGITEK para o componente LED em análise foram disponibilizados como TAF (tempo até falha), criando-se um fólio para cada fabricante, conforme figuras 21 e 22 abaixo:



### Dados de falha do fabricante SUNLED inserido no SW conforme Quadro 3

Figura 21 Dados de falhas do fabricante SUNLED inseridos no software

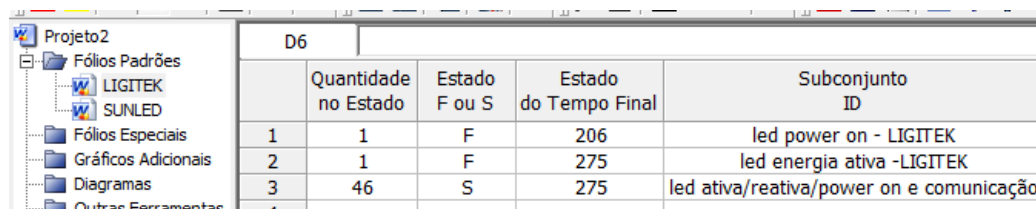


	Quantidade no Estado	Estado F ou S	Estado do Tempo Final	Subconjunto ID
1	1	F	69	led energia ativa - SUNLED
2	2	F	69	led power-on - SUNLED
3	2	F	69	led de comunicacao - SUNLED
4	3	F	69	led energia reativa - SUNLED
5	1	F	138	led de comunicacao - SUNLED
6	2	F	138	led energia ativa - SUNLED
7	2	F	138	led energia reativa - SUNLED
8	1	F	206	led energia ativa - SUNLED
9	1	F	206	led energia reativa - SUNLED
10	1	F	206	led power-on - SUNLED
11	1	F	206	led de comunicacao - SUNLED
12	1	F	275	led energia ativa - SUNLED
13	1	F	275	led power-on - SUNLED
14	29	S	275	led ativa/reactiva/power on e comunicação
15				

Fonte: O autor, 2015.

### Dados de falha do fabricante LIGITEK inserido no SW conforme Quadro 4

Figura 22 Dados de falhas do fabricante LIGITEK inseridos no software



	Quantidade no Estado	Estado F ou S	Estado do Tempo Final	Subconjunto ID
1	1	F	206	led power on - LIGITEK
2	1	F	275	led energia ativa -LIGITEK
3	46	S	275	led ativa/reactiva/power on e comunicação
4				

Fonte: O autor, 2015.

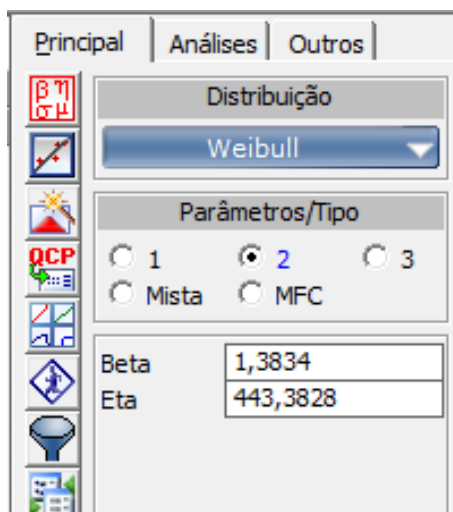
## 4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.5.1 Beta ( $\beta$ ) e Eta ( $\eta$ ) obtidos para os fabricantes SUNLED e LIGITEK

Inicialmente foi realizado o “teste de aderência” no software com o objetivo de verificar a melhor distribuição para os dados de vida apresentados, sendo sugerido como melhor distribuição, o modelo Weibull. Outro fator que reforça tal escolha pode ser verificado na norma NBR 16078:2012 que utiliza como distribuição padrão para medidores eletrônicos de energia elétrica o modelo Weibull.

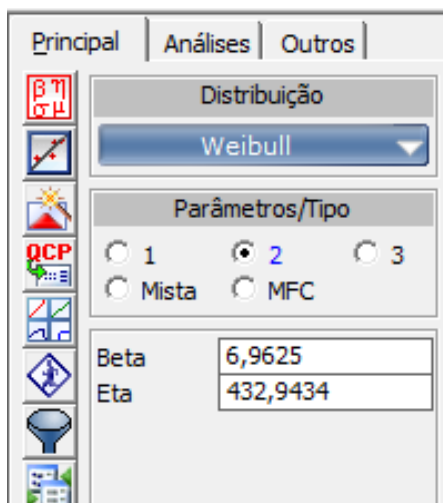
Na sequencia foi calculado o Beta ( $\beta$ ) e o Eta ( $\eta$ ) para cada fabricante do LED, conforme figuras 23 e 24 abaixo:

Figura 23 Beta e Eta do fabricante SUNLED calculado pelo software



Fonte: O autor, 2015.

Figura 24 Beta e Eta do fabricante LIGITEK calculado pelo software



Fonte: O autor, 2015.

#### 4.5.2 Relatório de Confiabilidade para os fabricantes SUNLED e LIGITEK

Com o auxílio da ferramenta “Tábua de Cálculo (QCP)”, foram calculados os dados de confiabilidade para cada fabricante, processando os dados e gerando um relatório através do software de confiabilidade, conforme quadros 7 e 8 abaixo:

##### Relatório de Confiabilidade do fabricante SUNLED

Quadro 7 – Relatório de Confiabilidade fabricante SUNLED para 5 simulações

Data: dez 18, 2015					
Tempo Final da Missão (meses) =	60	84	120	156	240
<b>Tempo Final da Missão (anos) =</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>20</b>
Intervalos de Confiança Utilizados:	2-Lados	2-Lados	2-Lados	2-Lados	2-Lados
Método do Intervalo de Confiança:	M. Fisher	M. Fisher	M. Fisher	M. Fisher	M. Fisher
Nível de Confiança =	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Confiabilidade =</b>	<b>0,9766</b>	<b>0,8936</b>	<b>0,813</b>	<b>0,7507</b>	<b>0,6397</b>

Fonte: O autor, 2015.

##### Relatório de Confiabilidade do fabricante LIGITEK

Quadro 8 – Relatório de Confiabilidade fabricante LIGITEK para 5 simulações

Data: dez 18, 2015					
Tempo Final da Missão (meses) =	60	84	120	156	240
<b>Tempo Final da Missão (anos) =</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>20</b>
Intervalos de Confiança Utilizados:	2-Lados	2-Lados	2-Lados	2-Lados	2-Lados
Método do Intervalo de Confiança:	M. Fisher	M. Fisher	M. Fisher	M. Fisher	M. Fisher
Nível de Confiança =	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
<b>Confiabilidade =</b>	<b>1,0000</b>	<b>1,0000</b>	<b>0,9999</b>	<b>0,9992</b>	<b>0,9837</b>

Fonte: O autor, 2015.

Neste relatório é possível verificar a confiabilidade do componente LED para os fabricantes SUNLED e LIGITEK para os primeiros 5, 7, 10, 13 e 20 anos do componente em campo.

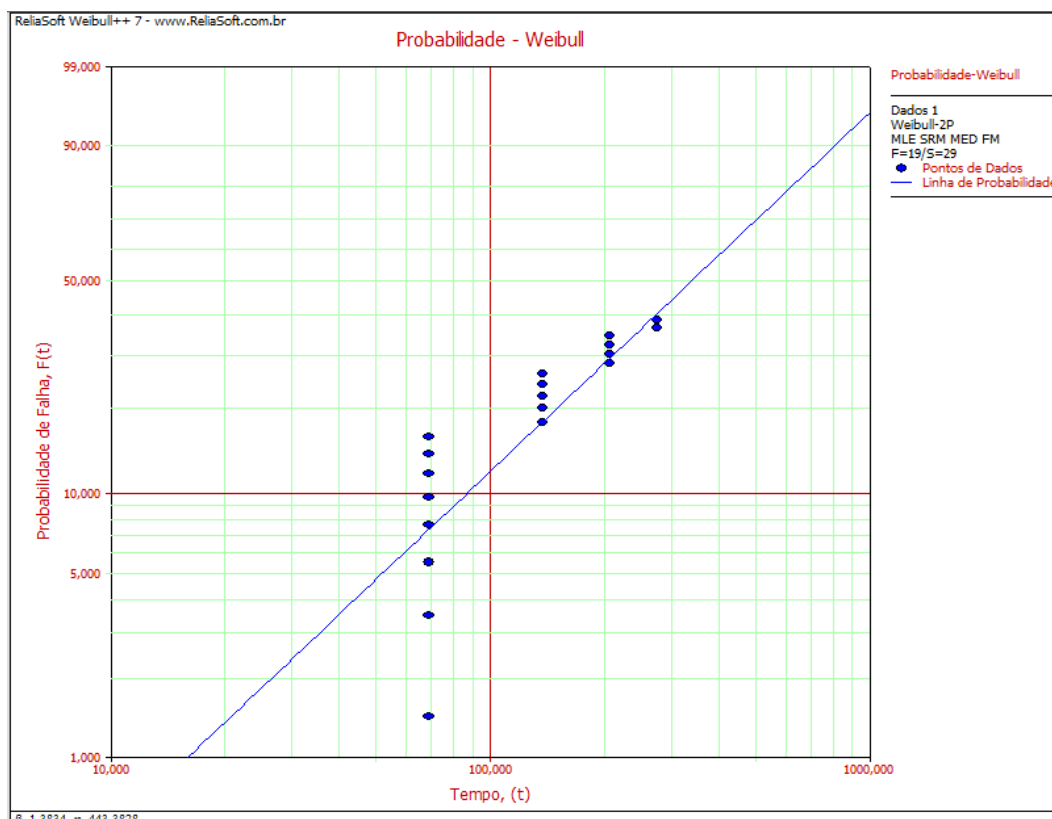
### 4.5.3 Gráficos para os fabricantes SUNLED e LIGITEK

Foram gerados no próprio software todos os gráficos para análise dos dados de vida destes fabricantes SUNLED e LIGITEK, como Confiabilidade, Probabilidade de Falha, Função Densidade de Probabilidade e por fim Taxa de Falha para os dois fabricantes de componentes LED, conforme abaixo:

#### Gráficos do fabricante SUNLED

No gráfico da figura 25 é mostrado a probabilidade de falha encontrada para o componente do fabricante SUNLED. É possível verificar a compatibilidade dos dados com a distribuição estatística escolhida (Weibull), conforme abaixo:

Figura 25 Gráfico de probabilidade Weibull do fabricante SUNLED

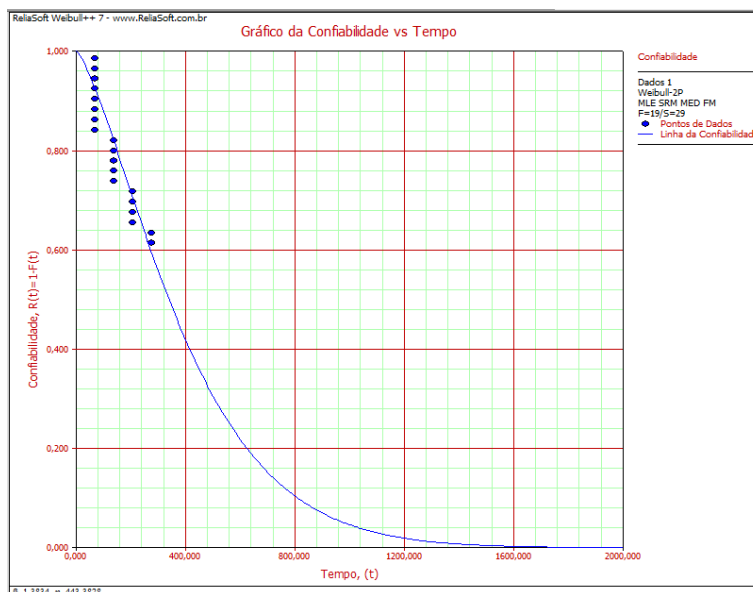


Fonte: O autor, 2015.

Já no gráfico da figura 26 é apresentado a curva de confiabilidade ou curva de vida do componente da fabricante SUNLED. Nele é possível observar uma queda acentuada da confiabilidade logo no início da vida útil, apresentando uma confiabilidade de 84,1% nos primeiros 69 meses de uso do componente, chegando a

uma confiabilidade de 63,4% com 275 meses de uso do componente, conforme representado abaixo:

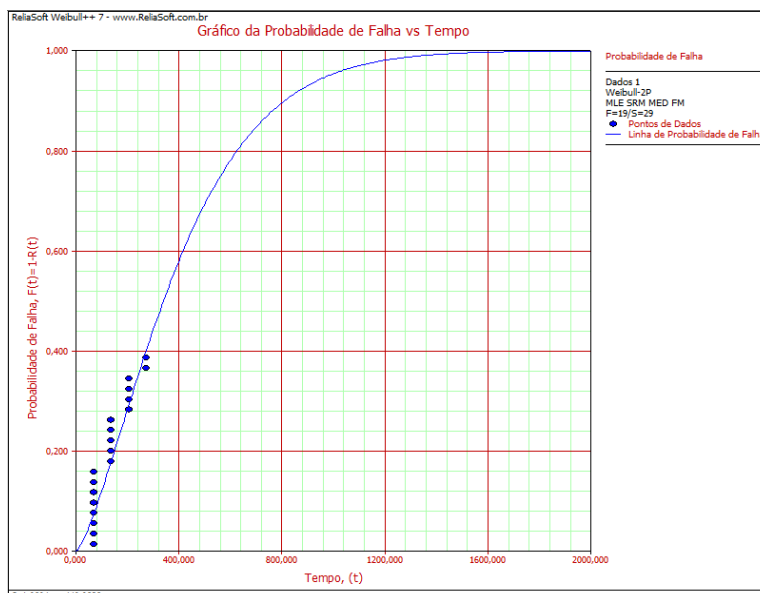
Figura 26 Gráfico de confiabilidade vs tempo do fabricante SUNLED



Fonte: O autor, 2015.

No gráfico da figura 27 é possível observar a probabilidade de falha do componente do fabricante SUNLED, que é exatamente o oposto do gráfico de confiabilidade. Nele é possível observar um aumento acentuado da probabilidade de falha logo no início da vida útil, apresentando uma probabilidade de falha de 15,9% nos primeiros 69 meses de uso do componente, chegando a uma probabilidade de falha de 36,6% com 275 meses de uso do componente, conforme abaixo:

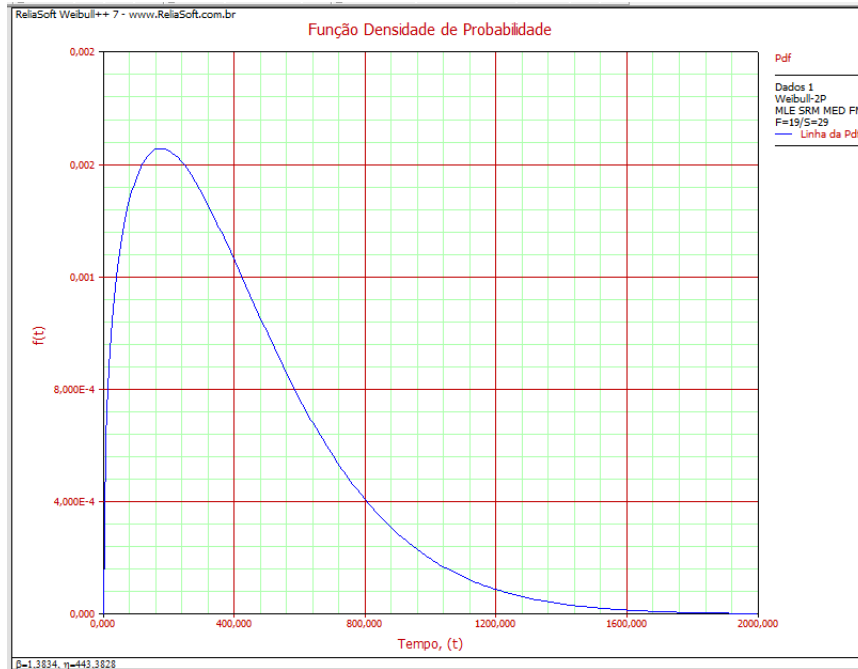
Figura 27 Gráfico de probabilidade de falha vs tempo do fabricante SUNLED



Fonte: O autor, 2015.

No gráfico da figura 28 é possível verificar que a curva está muito próxima de uma distribuição log-normal, uma vez que não é simétrica. A distribuição está deslocada positivamente conforme representando abaixo:

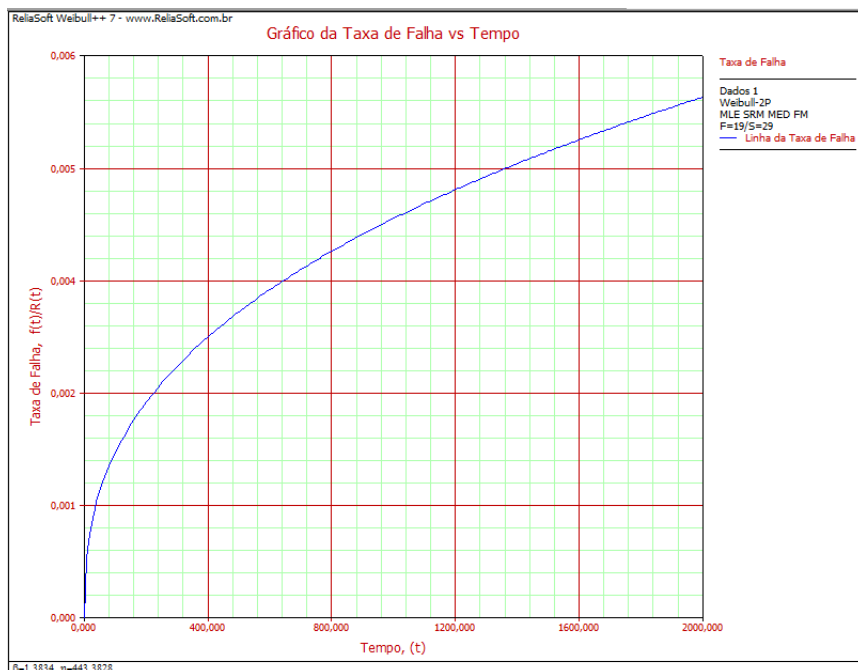
Figura 28 Gráfico da função densidade de probabilidade fabricante SUNLED



Fonte: O autor, 2015.

Por fim, no gráfico da figura 29 é possível verificar a taxa de falha do fabricante SUNLED, conforme representado abaixo:

Figura 29 Gráfico da taxa de falha vs tempo do fabricante SUNLED

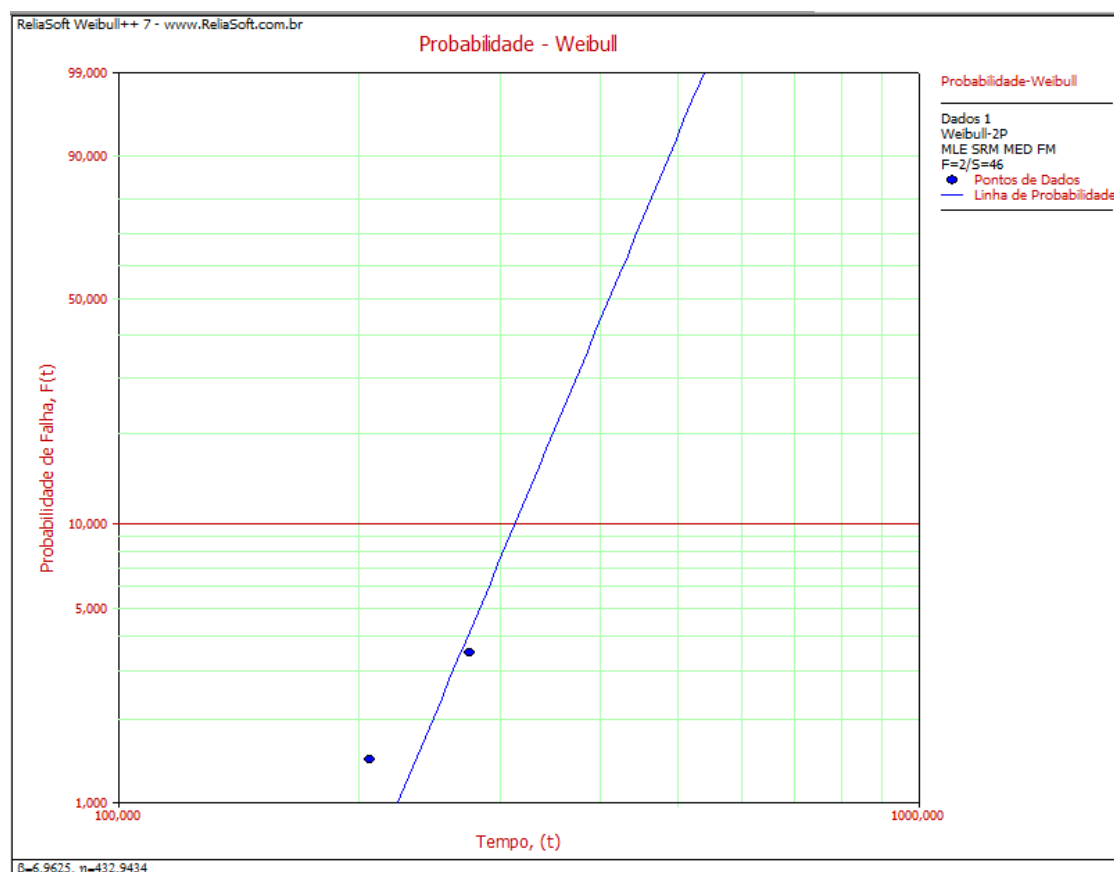


Fonte: O autor, 2015.

## Gráficos do fabricante LIGITEK

No gráfico da figura 30 é mostrado a probabilidade de falha encontrada para o componente do fabricante SUNLED. Foi observado um ponto longe da reta devido a quantidade de falhas ter sido baixa e a elevada quantidade de itens suspensos, conforme representado abaixo:

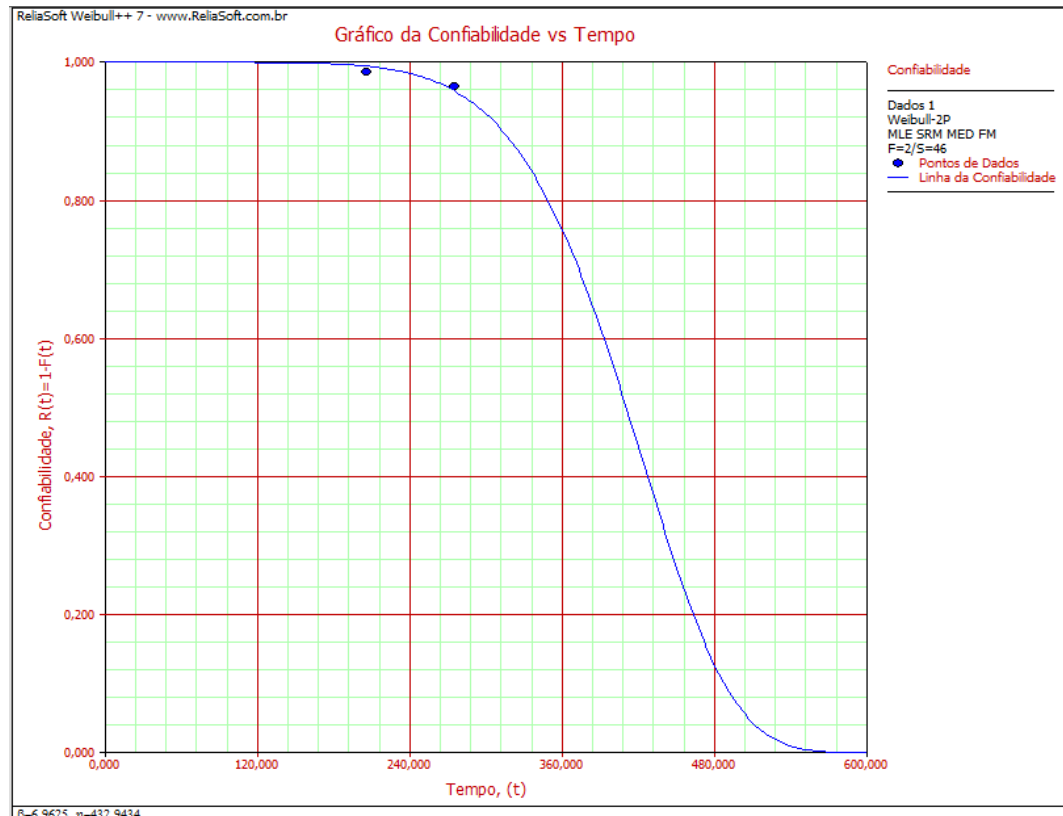
Figura 30 Gráfico de probabilidade Weibull do fabricante LIGITEK



Fonte: O autor, 2015.

Já o gráfico da figura 31 apresentada à curva de confiabilidade ou curva de vida do componente da fabricante LIGITEK. Nele é possível observar que a confiabilidade se mantém constante nos primeiros 168 meses de uso do componente, apresentando uma confiabilidade de 98,6% nos primeiros 206 meses de uso do componente, chegando a uma confiabilidade de 96,5% com 275 meses de uso do componente, conforme representado abaixo:

Figura 31 Gráfico de confiabilidade vs tempo do fabricante LIGITEK

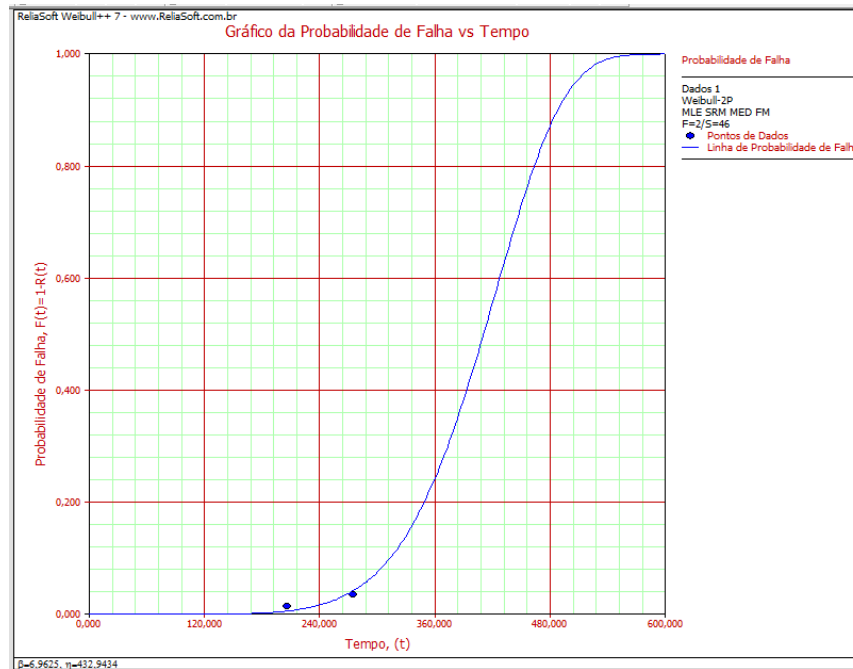


Fonte: O autor, 2015.

No gráfico da figura 32 é possível observar a probabilidade de falha do componente do fabricante LIGITEK, que é exatamente o oposto do gráfico de confiabilidade mencionado acima. Nele é possível observar que a probabilidade de falha se mantém constante nos primeiros 168 meses de uso do componente, apresentando uma probabilidade de falha de 1,4% nos primeiros 206 meses de uso do componente, chegando a uma probabilidade de falha de 3,5% com 275 meses de uso do componente, conforme representado abaixo:



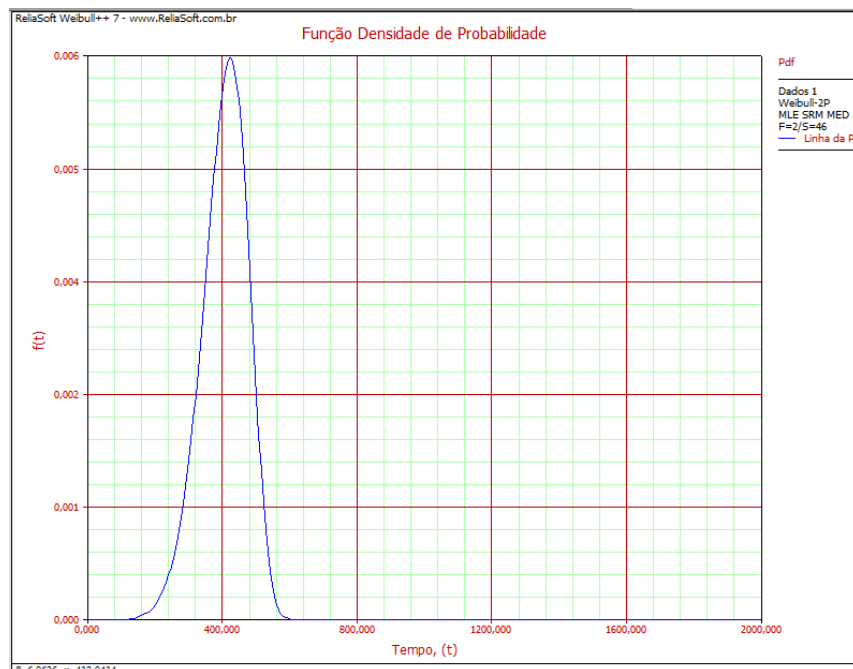
Figura 32 Gráfico de probabilidade de falha vs tempo do fabricante LIGITEK



Fonte: O autor, 2015.

No gráfico da figura 33 é apresentado o gráfico função densidade de probabilidade (PDF) dos dados analisados. Observando-a é possível verificar que a curva está muito próxima de uma normal, uma vez que é simétrica a distribuição com uma vida média de aproximadamente 440 meses, conforme representado abaixo:

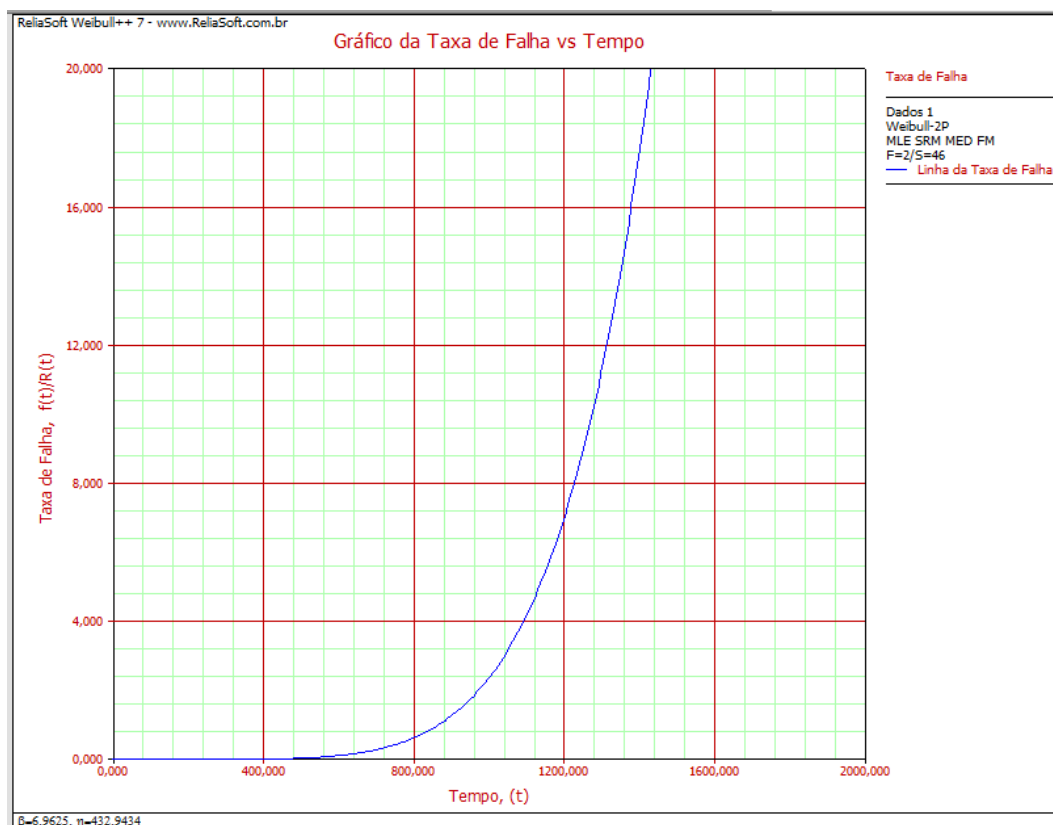
Figura 33 Gráfico da função densidade de probabilidade fabricante LIGITEK



Fonte: O autor, 2015.

Já o gráfico da figura 34 é a representação da taxa de falhas do componente LED do fabricante LIGITEK e analisando-a é possível verificar que se trata de uma taxa de falhas crescente, se mantendo constante no início e aumentando a taxa após aproximadamente 480 meses de uso, conforme abaixo:

Figura 34 Gráfico da taxa de falha vs tempo do fabricante LIGITEK



Fonte: O autor, 2015.

No próximo capítulo será apresentada a conclusão desta monografia, baseada na teoria dos capítulos 2 e 3 e também nos resultados do capítulo 4.

## 5 ANÁLISE GERAL

Antes da conclusão do trabalho alguns pontos são importantes serem esclarecidos. Como este produto vem sendo ensaiado desde 2012 e já foram realizados estudos para a determinação do seu comportamento anteriormente, foi utilizado apenas 1 nível de estressamento para a avaliação do componente LED. Desta forma os medidores/componentes foram ensaiados com os parâmetros mais rígidos da norma NBR 16078:2012 (85°C / 87% Rh), sendo considerados válidos os resultados do ensaio para aprovação ou reprovação deste componente em especificamente.

Com relação aos resultados encontrados, ficou claro que há uma grande diferença de desempenho entre os dois fornecedores do componente LED utilizado no medidor eletrônico de energia elétrica. Isto ficou evidenciado ao analisar os resultados do quadro 3, onde ao variar o tempo (5, 7, 10, 13 e 20 anos), a confiabilidade do fabricante SUNLED cai significativamente de 97,66% nos primeiros 5 anos para 63,97% ao final de 20 anos de uso do componente.

Já ao analisar os resultados do quadro 4, ao variar o tempo (5, 7, 10, 13 e 20 anos), a confiabilidade do fabricante LIGITEK pouco diminui de aproximadamente 100% nos primeiros 5 anos para 98,37% ao final de 20 anos de uso do componente.

Deste modo, é possível identificar que o componente LED do fabricante SUNLED não atende ao prazo de depreciação dos medidores eletrônicos de energia elétrica, mencionado no item 1.5 e que deve ser de 13 anos, com uma confiabilidade igual ou superior a 90% sendo identificada uma confiabilidade de 75,07% para 13 anos de uso, conforme quadro 3.

Porém, ao analisar os resultados de confiabilidade para o componente LED do fabricante LIGITEK para 13 anos de uso, pode-se dizer que o resultado atende ao requisito do item 1.5 (13 anos, com uma confiabilidade igual ou superior a 90%), uma vez que foi apresentada uma confiabilidade de 99,92% para os primeiros 13 anos de vida do componente, conforme quadro 4.

Outros pontos que reforçam a grande diferença entre os dois fornecedores do componente LED utilizado nos medidores eletrônicos de energia elétrica são os gráficos gerados, sendo possível observar nitidamente as diferenças de desempenho de cada fabricante.

Um exemplo bem claro desta diferença pode ser visto quando comparados os gráficos de confiabilidade dos fornecedores do componente LED nas figuras 22 e 27, no qual foi obtido uma confiabilidade de 63,4% para o fabricante SUNLED ao final de 275 meses de uso. Já para o fabricante LIGITEK ao final de 275 meses, a confiabilidade é de 96,5%.

Em contrapartida, ao analisar os gráficos de probabilidade de falha nas figuras 23 e 28, que é exatamente o oposto dos gráficos de confiabilidade, é possível observar uma probabilidade de falha de 36,6% para o fabricante SUNLED ao final de 275 meses de uso. Já para o fabricante LIGITEK ao final de 275 meses, a probabilidade de falha é de 3,5%.

Através destas análises, é possível afirmar que ações de melhorias no produto devem ser tomadas imediatamente para atendimento do requisito do item 1.5 (13 anos, com uma confiabilidade igual ou superior a 90%).

## 6 CONCLUSÕES

Ao avaliar o desempenho do componente eletrônico LED utilizado no medidor eletrônico de energia elétrica através de dois fornecedores distintos, foram detectados diferentes resultados de confiabilidade, sendo que o fornecedor atualmente homologado (SUNLED) apresentou nível de confiabilidade inferior para o requisito do item 1.5 (13 anos, com uma confiabilidade igual ou superior a 90%).

Já o fabricante LIGITEK que estava sendo avaliado e com possibilidade de homologação apresentou níveis de confiabilidade elevadas e desempenho superior aos requisitos das concessionárias de energia elétrica nacional.

Com estas informações, o setor de desenvolvimento de produto (P&D) realizou uma análise e aceitou como válido os resultados de desempenho dos componentes através dos ensaios de vida acelerada.

Em seguida, foram realizados novos ensaios padrões e específicos de Engenharia de Desenvolvimento e Aplicação (P&D) para avaliação do componente LED dos dois fabricantes distintos, sendo aprovada a homologação do fornecedor LIGITEK e reprovada a homologação do fabricante SUNLED. Com relação ao preço do componente, foi observado uma pequena diferença de valor entre os dois fabricantes, portanto este requisito não interferiu na aprovação ou reprovação do componente.

Na sequência foi incluído na lista de fornecedores aprovados (AVL) o fornecedor LIGITEK e retirado desta lista o fabricante SUNLED sendo emitido um relatório final que inclui todas as informações relacionadas aos ensaios de confiabilidade, ensaios técnicos de engenharia e descrições técnicas dos componentes LEDs homologados e não homologados, conforme anexo A deste trabalho.

Com base em tudo que foi exposto até aqui é possível afirmar que os objetivos do trabalho foram alcançados, uma vez que observou-se diferentes comportamentos e desempenhos para os dois fabricantes distintos que estavam sendo avaliados, sendo incluída na lista de fornecedores aprovados (AVL) o fornecedor LIGITEK e excluído o fornecedor SUNLED que não apresentou resultados satisfatórios.

## 7 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho, como o ensaio de vida acelerada já está sendo executado deste 2012 no medidor de energia elétrica avaliado, foi apenas o nível mais crítico de estressamento (85°C / 87% UR), porém sugere-se para a execução completa da norma NBR 16078:2012 a utilização de mais 2 níveis de estressamento, como 75°C/87%UR e 65°C/87%UR para modelos de medidores onde é desconhecido seu comportamento estatístico.

Outra sugestão é a obtenção das falhas de campo, que são informados normalmente pelos clientes ou obtidas via assistência técnica quando o produto está em garantia. Estes dados são extremamente importantes no estudo de determinação da Confiabilidade.

Deste modo, a sugestão final é o confronto dos dados obtidos no ensaio de vida acelerada (3 níveis de estressamento) com os dados de retorno de campo, determinando-se a Confiabilidade mais próxima do medidor eletrônico a ser analisado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025**: Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. Rio de Janeiro, Janeiro de 2001. ABNT, 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. PORTARIA Nº 587: **Regulamento Técnico Metrológico**. Rio de Janeiro, Novembro de 2012; INMETRO, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 16078**: Equipamentos de medição de eletricidade – Confiabilidade – Ensaio de Confiabilidade – Vida acelerada por umidade e temperatura. Rio de Janeiro, Julho de 2012. ABNT, 2012.

GUIMARÃES, DSc Inácio Andruski. **Estatística**. Notas de Aula. Curitiba, 2012.

FELIX, Érico Pessoa. 2006. **Análise de Confiabilidade de Sistemas Eletrônicos complexos baseado em ensaios acelerados de vida**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

MIZUNO, Caroline Sayuri. 2010. **Aperfeiçoamento de um produto através de um estudo de sua confiabilidade como um fator de valor**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

ESTEVES, Rafael. Monografia: **Ensaio de vida acelerada em medidores eletrônicos de energia elétrica**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

ESTEVES, Rafael. **Artigo sobre Confiabilidade - revista interna L+G**. Curitiba, 2015.

MARIANO, Carlos. **Notas de Aula**: Dependabilidade de Sistemas – UTFPR. Curitiba. Junho de 2012.

RELIASOFT CORPORATION. **RS 401**: Análise de Dados de Vida. 2011. Apostila de treinamento. RELIASOFT, 2011.

\_\_\_\_\_. **Manual Weibull**: Manual de utilização Software Weibull++. 20XX. RELIASOFT, 2010.

\_\_\_\_\_. **Manual ALTA**: Manual de utilização Software ALTA. 20XX. RELIASOFT, 2010.

SPANÓ, Claudio. **Notas de Aula**: Ensaio Acelerados de Vida – UTFPR. Curitiba. Agosto de 2012.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Sistema de Bibliotecas. **Normas para Elaboração de Trabalhos Acadêmicos**. Curitiba: 2008. UTFPR, 2008.

HARRIS, Tom. **Diode**. Kerala, 19 de outubro de 2011. Disponível em <<http://tecnologia.hsw.uol.com.br/led1.htm>>. Acesso em: 07 de novembro de 2015.

Thermotron. **Chambers**. S/SM, 19 de outubro de 2012. Disponível em <<http://thermotron.com/catalogsearch/result/?cat=0&q=+sm>>. Acesso em: 11 de novembro de 2015.

Estatística. **Distribuição Weibull**. 22 de maio de 2008. Disponível em

<<http://www.portalaction.com.br/probabilidades/613-distribuicao-weibull>>. Acesso em: 02 de janeiro de 2016.

CONTI, Fátima. **Distribuição Normal**. Biometria - EDAP, 5 de abril de 2011. Disponível em <<http://www.ufpa.br/dicas/biome/bionor.htm>>. Acesso em: 07 de dezembro de 2013.

CPFL. 2011. **Companhia Paulista de Energia e Luz**. Companhia Paulista de Energia e Luz. [Online] Serviços Corporativos - TI, 2011. [Citado em: 19 de Abril de 2013.] <http://www.cpfl.com.br/canaldaenergia/UsoConsciente/HistoacuteriadaEnergiaEleacutetrica/tabid/1093/language/pt-BR/Default.aspx>.

SANTOS, Diego Marcelo. **LED - Diodo Emissor de Luz**, 19 de outubro de 2006. Disponível em < <http://www.infoescola.com/eletronica/led-diodo-emissor-de-luz/>>. Acesso em: 17 de dezembro de 2015.

M. Sadiku, Charles Alexander. 2005. **Fundamentos de Circuitos Elétricos**. s.l. : Bookman, 2005.



## ANEXO A – RELATÓRIO DE ALTERAÇÃO DO COMPONENTE

### Test Report - LED SunLed and LIGITEK

Object: Analyze the emissivity of two different manufactures of photodiode (SunLed and LIGITEK).

Scope: Component Certification

Author: Meter Manufacturer

Status: Tests were performed in four samples, two of them with SunLed component manufacturer and two with the LIGITEK component manufacturer.

Doc ID.: N/A

Local: Brazil

Version	Date	Responsible	Reviews
1.0	17.09.2015		

Results:

Test	Status
1 – Emissivity test	Approved
2 – Communication test	Approved
3 – Mounting test	Approved
4 – ALT test (Accelerated Life Testing)	Approved

Executed by:	Reviwed by:	Approved by:
Meter Manufacturer		

### SUMMARY

<b>1.</b>	<b>OBJECTIVE.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>SAMPLES VERSION .....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>COMPONENT DESCRIPTION.....</b>	<b>4</b>
3.1.	CURRENTLY USED.....	4
3.2.	PROPOSED .....	4
<b>4.</b>	<b>USED EQUIPMENTS .....</b>	<b>5</b>
<b>5.</b>	<b>TEST DESCRIPTION .....</b>	<b>5</b>
<b>6.</b>	<b>RESULTS.....</b>	<b>6</b>
6.1.	EMISSIVITY TEST .....	6
6.2.	COMUNICATION TEST .....	6
6.3.	MOUNTING TEST .....	6
6.4.	ALT TEST (ACCELERATED LIFE TESTING).....	7
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>8</b>

### TABLE SUMMARY

TABLE 01 - VERSION OF THE SAMPLES.....	3
TABLE 02 – SUNLED SPECIFICATIONS.....	4
TABLE 03 – LIGITEK SPECIFICATIONS .....	4
TABLE 04 – EMISSIVITY TEST .....	6

## 1. OBJECTIVE

This document shows the results of the test done in the photodiode with two different component manufacturers. After the change, it was checked if the meter is communicating correctly. This test was necessary because the actual component showed a bad performance in ALT test (Accelerated Life Testing).

The component manufactured by SunLED already presented several problems in reliability tests conducted by meter manufacturer. Some answers were sent by SunLED about the problems, but, for this item, we can see that the quality of the component does not meet the needs of meter manufacturer.

This way, we chose to locate another component manufacturer for the same solution used in meter and the first to be tested (LED) is the same as the single phase design uses. This component manufacturer is the LIGITEK.

At the end of this report, are the documents that show the problems discovered by meter manufacturer and the solution proposed by SunLED.

## 2. SAMPLES VERSION

This test was done with 4 meter samples, 2 original samples with the photodiode SMD XLMR11WD from SunLED component manufacturer and 2 samples with the photodiode SMD LUR2043-PF from LIGITEK component manufacturer.

Quantity	Component Manufacturer	Part Number
02	SunLED	XLMR11WD
02	LIGITEK	LUR2043-PF

*Table 01 - Version of the Samples*

### 3. COMPONENT DESCRIPTION

#### 3.1. Currently used

- **Component Manufacturer:** SUNLED
- **Description:** LED PTH SINGLE COLOR RED GAAS 3MM
- **Partnumber:** XLMR11WD
- **Luminous Intensity LED:** 480 (minimum) / 597 (typical)

Part Number	Emitting Color	Emitting Material	Lens-color	Intensity (IF=20mA) mcd		Wavelength nm $\lambda$ P	Viewing Angle $2\theta$ 1/2
				min.	typ.		
XLMR11WD	Red	GaAlAs	Water Clear	480	597	660	34°

Table 02 – SunLED specifications

#### 3.2. Proposed

- **Component Manufacturer:** LIGITEK
- **Description:** LED PTH ULTRA BRIGHT RED 30mA - 3mm
- **Partnumber:** LUR2043-PF
- **Luminous Intensity LED:** 900 (minimum) / 1100 (typical)

PART NO	MATERIAL	COLOR		Peak wave length $\lambda$ Pnm	Spectral halfwidth $\Delta \lambda$ nm	Forward voltage @20mA(V)		Luminous intensity @20mA(mcd)		Viewing angle $2\theta$ 1/2 (deg)
		Emitted	Lens			Min.	Max.	Min.	Typ.	
LUR2043-PF	GaAlAs	Red	Water Clear	660	20	1.5	2.4	900	1100	30

Table 03 – LIGITEK specifications

#### 4. USED EQUIPMENTS

- Emissivity Meter – Radiometer Photometer ILT1400;
- Central Communication
- Engineering SW.

#### 5. TEST DESCRIPTION

First of all, the meters were tested with a device which measures the photodiode emissivity called Radiometer Photometer ILTc1400, the device was adjusted to measure the radiant intensity unity in mW/sr (milliWatts per steradian). After the data collection, it was observed that the photodiode from the LIGITEK component manufacturer has emitted about 2,5 times more than the SunLED component manufacturer (according to item 5. Results).

From this observation, a reading test was performed with the two samples with LIGITEK photodiode. Was used a Central Communication to read the meter.

After the meter was tested in a calibration table to verify the performance from LED and table sensor.

The end of all, an ALT test (Accelerated Life Testing) was started to verify the performance of the LED, provided by LIGITEK component manufacturer, in meter.

## 6. RESULTS

### 6.1. Emissivity test

The results of the emissivity test are shown in the table below:

Sample	SunLED	LIGITEK
1	564uW/sr	
2	555uW/sr	
3		1,470mW/sr
4		1,560mW/sr

*Table 04 – Emissivity Test*

The LED manufactured by LIGITEK showed a best performance compared with SunLED. The emissivity was 2,5 times more than the actual component (see Table 4).

### 6.2. Communication test

This test was done performing communication between central communication and meter in order to verify the meter communication efficiency. This was verified through Engineering Software and in all communication attempts the success was been reached, was happened communication between meter and central communication.

### 6.3. Mounting test

This test was done performing the montage between electronic and plastic parts in the meter manufacturer line Production. There wasn't any problem during mechanical montage. The tests they were succeeded (function, calibration, serialization and laser test).

#### 6.4. ALT test (Accelerated Life Testing)

This test was performed in meter manufacturer Laboratory with twelve meters sample using 48 LEDs samples. The results are shown below in the attachment documents.

## 7. CONCLUSION

Analyzing the test data, the LED manufactured by SUNLED does not attend the meter manufacturer specification when the equipment is subjected in ALT test (Accelerated Life Test).

This way, the LED manufactured by LIGITEK (PN: LUR2043-PF) was tested and **APPROVED** to use in meter (active and reative power, power-on and communication) from the PCBA assembly.