

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

**HUBERT KLEIN BRANCO**

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTO DE  
MONITORAMENTO DE VEÍCULOS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2018**

**HUBERT KLEIN BRANCO**

**ESTUDO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTO DE  
MONITORAMENTO DE VEÍCULOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA**

**2018**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
Especialização em Engenharia da Confiabilidade



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ESTUDO DA CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTO DE MONITORAMENTO DE VEÍCULOS**

por

**HUBERT KLEIN BRANCO**

Esta monografia foi apresentada em 05 de outubro de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia da Confiabilidade, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**Marcelo Rodrigues, Dr.**  
Professor Orientador - UTFPR

---

**Carlos Henrique Mariano, Dr.**  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

**Emerson Rigoni, Dr. Eng.**  
Membro Titular da Banca - UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Carlos Henrique Mariano, pela orientação e auxílio dado durante a elaboração deste trabalho.

Ao meu pai Rui e à minha mãe Setêmia, pelo acompanhamento e apoio durante todo o tempo do curso.

À Hanna Carolina, por acompanhar minhas divagações durante todo o tempo de trabalho.

Aos meus familiares e amigos.

À empresa fabricante do equipamento analisado e seus colaboradores, pela oportunidade e prestatividade nos auxílios necessários na realização deste trabalho.

Para todos os outros que, de alguma forma, contribuíram na realização deste trabalho.

## RESUMO

BRANCO, Hubert Klein. **Estudo da Confiabilidade de Equipamento de Monitoramento de Veículos.** 2018. 45p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Este trabalho tem como objetivo principal estimar a confiabilidade de um equipamento que realiza o monitoramento de tráfego. A análise separa os dados de vida por cliente e também por modo de falha. A distribuição estatística de Weibull é utilizada para ajustar um modelo aos dados de vida, assim como plotar gráficos da confiabilidade, taxa de falha, probabilidade de falha e gráfico de contorno. É realizada a comparação de clientes, assim como dos parâmetros encontrados para a distribuição de Weibull. A teoria da análise de dados de vida é brevemente apresentada. Este estudo evidencia, com base na confiabilidade, a diferença na condição de uso do equipamento com relação ao cenário de utilização de cada cliente.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. ITS. Weibull.

## **ABSTRACT**

BRANCO, Hubert Klein. **Reliability Study of a Vehicle Monitoring Equipment.** 2018. 45p. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

This work has as primary objective the estimation of the reliability from an equipment intended for traffic monitoring. The analysis segregates the life data set per customer and also per failure mode. The Weibull statistical distribution function is used to fit the failure data set and to plot the reliability over time, failure rate over time, probability of failure over time and contour plot. The customers are compared, as well as the fitted Weibull distribution parameters. A brief summary of life data analysis theory is also presented. This study demonstrate, based on the reliability theory, the distinct usage condition of the equipment regarding the different customers' scenarios.

**Key-words:** Reliability. ITS. Weibull.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 – Objeto de estudo deste trabalho. ....  | 19 |
| Figura 2.2 – Instalação típica da câmara estudada por este trabalho. ....   | 20 |
| Figura 3.1 - Estado de um item não reparável. ....  | 24 |
| Figura 3.2 - Função Densidade de Probabilidade $f(t)$ e Função de Probabilidade Acumulada $F(t)$ . ....   | 24 |
| Figura 3.3 - Função Confiabilidade $R(t)$ . ....  | 25 |
| Figura 3.4 - Influência do parâmetro de forma em na função densidade de probabilidade (a); confiabilidade (b); probabilidade acumulada de falha (c) e função taxa de falhas (d), utilizando $\mu = 30$ . .... | 26 |
| Figura 3.5 – Itens com início de utilização em datas distintas. ....  | 27 |
| Figura 3.6 – Itens com início de utilização na mesma data. ....   | 28 |
| Figura 3.7 – Dados completos. ....  | 29 |
| Figura 3.8 - Dados censurados à direita. ....   | 29 |
| Figura 4.1 - Confiabilidade para os clientes A, B e C. ....   | 33 |
| Figura 4.2 - Gráfico de contorno para as distribuições de Weibull dos clientes A, B e C. ....   | 34 |
| Figura 4.3 - Taxa de falha para os clientes A, B e C. ....  | 35 |
| Figura 4.4 - Probabilidade de falha para os clientes A, B e C. ....   | 35 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 4.1 – Disposição dos dados para processamento. ....  | 32 |
| Tabela 4.2 – Quantidades de cada modo de falha discriminadas por cliente.....                           | 32 |
| Tabela 4.3 - Parâmetros da distribuição de Weibull e MTTF encontrados para os<br>clientes A, B e C..... | 33 |
| Tabela 4.4 - Relação dos modos de falha. ....   | 36 |
| Tabela 4.5 - Parâmetros de Weibull para os modos de falha, por cliente. ....                            | 36 |



## LISTA DE ABREVIATURAS

|      |  |
|------|--|
| ITS  | Intelligent Transportation Systems             |
| OCR  | Optical Character Recognition                  |
| IVHS | Intelligent Vehicle Highway Society of America |
| MTTF | Mean Time To Failure                           |

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$  – Parâmetro de forma de uma distribuição de Weibull

$\mu$  – Vida característica de uma distribuição de Weibull

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                         | <b>12</b> |
| 1.1.     | PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA .....          | 13        |
| 1.2.     | OBJETIVOS .....                                 | 13        |
| 1.2.1.   | Objetivo Geral.....                             | 13        |
| 1.2.2.   | Objetivos Específicos .....                     | 14        |
| 1.3.     | JUSTIFICATIVA .....                             | 14        |
| 1.4      | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....                | 14        |
| 1.5      | ESTRUTURA DO TRABALHO .....                     | 15        |
| <b>2</b> | <b>SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES.....</b> | <b>17</b> |
| 2.1      | DEFINIÇÃO .....                                 | 17        |
| 2.2      | HISTÓRIA.....                                   | 17        |
| 2.3      | CENÁRIO DE APLICAÇÃO.....                       | 18        |
| 2.4      | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....           | 21        |
| <b>3</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                 | <b>22</b> |
| 3.1      | CONFIABILIDADE.....                             | 22        |
| 3.2      | ANÁLISE DE DADOS DE VIDA .....                  | 27        |
| 3.3      | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....           | 29        |
| <b>4</b> | <b>ANÁLISE DOS DADOS DO EQUIPAMENTO .....</b>   | <b>31</b> |
| 4.1      | OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DOS DADOS.....            | 31        |
| 4.2      | ANÁLISE DOS DADOS.....                          | 31        |
| 4.3      | SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO .....           | 38        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                          | <b>39</b> |
| 5.1.     | SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....           | 40        |

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade do transporte de pessoas e mercadorias continua estimulando o desenvolvimento de sistemas de transporte inteligentes, ou ITS (*Intelligent Transportation Systems*). A aplicação de tais sistemas têm permitido uma rede de tráfego mais segura e comunicativa por meio dos benefícios do compartilhamento de informações por rede de dados.

A fim de obter informações de veículos, para um sistema de transporte, a utilização de câmeras torna-se interessante para diversas aplicações. Por meio delas é possível realizar uma leitura inteligente de caracteres de uma placa veicular, por meio do OCR (*Optical Character Recognition*), e também detectar a passagem de veículos por meio de um sensor virtual, em imagem, chamado de *trigger* virtual.

Diante destas possibilidades, este trabalho estuda a confiabilidade de uma câmera destinada para aplicação em ITS. Como o objeto de estudo é um dos elementos fundamentais para gerar informação, é de extrema importância que seu funcionamento seja garantido, de forma que as perdas na coleta de dados sejam minimizadas.

O objeto de estudo deste trabalho, portanto, equipamento eletrônico, tem sua implantação em todo território brasileiro e também em alguns outros países da América Latina. Desta forma, pode-se esperar, que as condições de uso, instalação da rede elétrica e condições climáticas podem ser completamente distintas para o mesmo produto. Este trabalho propõe identificar, por meio das técnicas da engenharia de confiabilidade, alguma variação em tal aplicação, notável pela análise dos dados de vida de um exato mesmo modelo de câmera. Segundo SWINGLER (2015), é importante para o time de design ter informações de experiências já vividas ou qualquer informação relevante. Adicionalmente, SWINGLER afirma que não é possível desenvolver um produto confiável sem ter informação de onde e como o produto será utilizado, assim como uma análise de requisitos adequada é necessária. Portanto, a discussão contida neste trabalho é de tremenda importância para os desenvolvedores do produto, uma vez que podem identificar cenários em que o mesmo pode ser aprimorado.

A título de resguardar as informações confidenciais de clientes remetidos nos documentos analisados neste trabalho, a identidade dos clientes e modelo de

equipamento não será divulgado, assim como quantidades vendidas e retornadas de campo.

## 1.1. PREMISSAS E PROBLEMA DE PESQUISA

Quando ainda em planejamento, os desenvolvedores de um produto acreditam em determinada aplicação para seu produto, quando finalizado e utilizado pelo cliente. Nem sempre esta aplicação concretiza-se exatamente como imaginada nas fases iniciais de projeto, ou até mesmo outros casos de uso surgem ao longo da vida útil do produto. O contato com o cliente pode ser um meio pelo qual o desenvolvedor pode identificar um novo caso de uso, porém nem sempre este contato entre desenvolvedor e cliente ocorre. Propõe-se neste trabalho, identificar um possível novo caso ou cenário de utilização para um produto já consolidado, por meio da análise dos dados de retorno de campo do mesmo, diferenciando os retornos por cliente.

Acredita-se que, por meio da análise dos dados de retorno para manutenção já coletados, seja possível identificar diferença na utilização do equipamento com relação ao uso do equipamento por clientes distintos. Existe forte expectativa de que a utilização do cliente, isto é, caso de uso específico, esteja relacionado com a confiabilidade e os retornos do produto em estudo.

Desta forma, este trabalho busca levantar, por meio dos dados de retorno de campo e vendas já registrados, a confiabilidade do equipamento sob estudo, relacionando-a a cada cliente registrado nas ordens de serviço. Supõe-se que um mesmo cliente, em uma mesma compra, deva instalar as diversas unidades adquiridas do mesmo produto em uma mesma condição de uso.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Comparar a utilização do equipamento sob condição de cada cliente, avaliando-a com as métricas de confiabilidade obtidas por meio da análise de dados de vida.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Obter os dados de ordem de serviço do mesmo equipamento sobre estudo;
- Obter os dados de venda do mesmo equipamento sobre estudo, em um intervalo representativo, classificado por cliente;
- Determinar a confiabilidade do equipamento com base nos dados de vida para o uso de cada cliente;
- Comparar as métricas de confiabilidade do produto para o uso de cada cliente.

### 1.3. JUSTIFICATIVA

É natural que para um mesmo produto haja diversos cenários de utilização. Dentre eles, pode haver cenários mais exigentes, em termos de stress, contribuindo para um desgaste acelerado em relação a um menos exigente. Da mesma forma, pode haver algum cenário de uso em que talvez o produto não seja o mais adequado, ou então simplesmente o material informativo sobre a utilização do equipamento não é o mais adequado para o cliente e sua aplicação, ou mesmo alguma situação que ainda deva ser investigada. Em função de todas as possibilidades de utilização de um produto, até mesmo aquelas em que o produto não é adequado contudo foi exposto, desenvolveu-se este trabalho, a fim de identificar por meio das métricas da confiabilidade estas distintas aplicações de um mesmo produto. Com esta avaliação é possível, inclusive, identificar melhorias para determinada aplicação do equipamento ou alternativas de produtos mais adequados para o cliente, assim como novas oportunidades de mercado.

### 1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Partindo da classificação de pesquisa sugerida por Silva e Menezes (2005), quanto à sua natureza, esta pesquisa define-se como pesquisa aplicada, uma vez que tem como objetivo a solução de um questionamento prático com relação à um produto eletrônico e sua utilização em campo. Tal estudo pôde ser realizado por

meio da tabulação das ordens de serviço de manutenção e garantia do produto estudado, e então aplicando as técnicas de confiabilidade descritas nos capítulos posteriores deste trabalho.

Seguindo o mesmo autor, pode-se identificar este trabalho como pesquisa quantitativa, em se tratando da forma de abordagem da pesquisa, uma vez que dispõe da análise estatística dos dados de retorno de campo, registrados nas ordens de serviço disponibilizadas pela empresa.

Com relação aos objetivos do trabalho, esta pesquisa é exploratória, pois busca levantar informações dos dados já encontrados, de forma a trazer mais experiência no entendimento dos cenários de utilização do produto atual.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, trata-se de um trabalho de estudo de caso, em função de que o mesmo produto é avaliado sob utilização de distintos clientes, a fim de levantar informações capazes de descrever melhor sua utilização.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Com o intuito de atingir os objetivos listados no capítulo 1.2.2, o presente trabalho divide-se em 5 capítulos, cada um deles descrito em um dos parágrafos a seguir.

O capítulo 1 contém um texto introdutório para a compreensão do trabalho, justifica sua execução e esclarece sua metodologia, assim como lista os objetivos de sua execução. Portanto, este primeiro capítulo repassa ao leitor a expectativa do que será abordado no decorrer do texto do trabalho.

O segundo capítulo concentra-se em apresentar o tema do trabalho. Este capítulo exhibe a história dos sistemas de transporte inteligentes e explica o cenário de aplicação do estudo deste trabalho.

No capítulo 3 é abordado o referencial teórico referente à engenharia de confiabilidade, com ênfase para a análise de dados de vida, tema fundamental para a compreensão deste estudo.

No quarto capítulo é apresentada a aplicação da teoria na análise do tema do trabalho. O capítulo apresenta como a análise foi realizada.

O capítulo 5 expõe as conclusões retiradas do estudo realizado, dificuldades encontradas, limitações e também sugestões para futuros trabalhos.



## 2 SISTEMAS DE TRANSPORTE INTELIGENTES

Este capítulo apresenta conceitos sobre ITS, contendo seu conceito e sua atual utilização, assim como uma visão para o futuro. Tais conceitos são fundamentais na compreensão da utilização do objeto de estudo deste trabalho.

### 2.1 DEFINIÇÃO

Segundo SUSSMAN (2005), ITS combina alta tecnologia e melhorias nos sistemas de informação, sistemas, comunicação, sensores e também métodos matemáticos avançados com a realidade da infraestrutura de transporte existente. Os sistemas de transporte inteligente são aplicados no transporte público, veículos comerciais e também rodovias.

### 2.2 HISTÓRIA

SUSSMAN (2005) conta brevemente a história dos sistemas inteligentes de transporte. O autor conta que discussões sobre o futuro do sistema de transporte ocorreram em 1986, envolvendo representantes do estado, academia e instituições privadas. Mesmos com grandes investimentos já aplicados no país e pensando em perspectivas para o futuro, o grupo preocupava-se com o crescimento dos atrasos causados pelo trânsito e também outros problemas remanescentes de segurança, muitas vezes atrelados aos horários de pico. O país também preocupava-se com questões ambientais e problemas energéticos, aqueles relacionados ao tráfego de veículos terrestres. O grupo concluiu, então, que se deveria empregar maior esforço em soluções para os problemas remanescentes, uma vez que o enorme investimento na construção de novas e maiores rodovias não sanava os problemas já conhecidos. Percebeu-se também crescente desenvolvimento tecnológico por parte do Japão e países Europeus, com relação a soluções nos sistemas de transporte, países que já era fortes rivais econômicos dos EUA nos anos 80.

Foi definido, portanto, que o conceito de solução para este problema seria aliar a alta tecnologia, sensores e modelos matemáticos avançados junto a sistemas de informação, e não apenas a tradicional ampliação da infraestrutura de transporte.

Este conceito poderia auxiliar na compreensão de fatores humanos no transporte, assim como melhorar a segurança e oferecer controle e alternativas de transporte. Em 1990 foi criado oficialmente o IVHS (*Intelligent Vehicle Highway Society of America*), nos Estados Unidos, atuando como um comitê de auxílio ao departamento de transportes. A IVHS era, na realidade, a formalização da representação daquele grupo que movimentou o início das discussões, em 1986.

Em 1992 o IVHS apresentou um planejamento de 20 anos de ITS para os Estados Unidos. O plano buscava implementar: um sistema nacional que promovia o movimento de pessoas e cargas de forma ordenada e segura; um transporte público eficiente, que interage também com as rodovias; uma indústria de software e hardware ITS, suprimindo necessidades nacionais e internacionais. A previsão de movimentação de capital no mercado nacional dos Estados Unidos era de 230 bilhões de dólares e de chegar a um trilhão de dólares, contando também com o mercado internacional, no período de 20 anos.

### 2.3 CENÁRIO DE APLICAÇÃO

O equipamento eletrônico ao qual a análise deste trabalho está relacionado é responsável pela aquisição de imagens em um sistema ITS. Este dispositivo é capaz de adquirir imagens com qualidade sob as mais variadas condições climáticas encontradas no país. Por meio do reconhecimento de caracteres (OCR), as imagens são transformadas em informação. Desta forma é possível, por exemplo, fazer uma busca em um banco de dados já existente a partir dos caracteres identificados em uma imagem, pela câmera. O OCR, contudo, é realizado por dispositivos a parte. O objeto de estudo deste trabalho, portanto, limita-se a captura adequada das imagens.

Um equipamento destinado a captura de imagens, como o que este trabalho estuda, pode ser utilizado em diversos cenários, como por exemplo estacionamentos, pedágios, identificação de containers e vagões e até em fiscalização de trânsito. Atualmente o equipamento está implantado por todo o país, em instalações dos mais diversos clientes.

A câmera estudada por este trabalho opera com alimentação de 9 a 25Vdc, sob temperaturas entre -10 a 70°C. Contudo, não deve ser exposta a umidade –

deve ser instalada dentro de uma caixa de proteção. Como este dispositivo está implantado por todo o país, ele está em funcionamento sob as mais diversas condições climáticas que o Brasil pode oferecer. Além disso, as instalações elétricas não são semelhantes. Cada cliente é responsável pela instalação elétrica da câmera, como também pela preservação do equipamento nas condições de temperatura e umidade especificadas no manual. Para que o equipamento possa operar em sob condições chuvosas, ele geralmente é instalado dentro de uma caixa protetora, que garante proteção adequada. O equipamento que este trabalho se concentra em estudar é o da Figura 2.1.

Figura 2.1 – Objeto de estudo deste trabalho.



FONTE: O autor (2018).

A instalação da câmera requer uma fonte de alimentação externa de corrente contínua, e esta é conectada na rede elétrica. Como já mencionado, um dispositivo aparte faz o processamento dos caracteres das imagens geradas pela câmera. Este dispositivo é, geralmente, um computador com capacidade de processamento suficiente para processar as imagens, reconhecendo os caracteres. O computador é a interface que pode se comunicar com outras redes ou banco de dados. Em função da possibilidade em utilizar a câmera também durante a noite, é necessário a instalação de um iluminador. O iluminador atua somente quando uma imagem é solicitada à câmera, em sincronia, iluminando a área da foto no exato momento do disparo. O disparo do iluminador é chamado de *trigger*, que ocorre quando um sensor envia sinal à câmera. A Figura 2.2 exibe um esquema da típica instalação de um sistema ITS na qual o objeto de estudo deste trabalho é

empregado. Quando uma câmera é instalada, sua imagem é requisitada por um computador para que possa ser feita a regulagem da imagem, para a situação diurna e também noturna. O modelo por este trabalho abordado requer ajuste manual de zoom e foco, que é realizado diretamente na lente do equipamento. Para a situação noturna é também configurado o disparo do iluminador, diretamente na tela de configuração da câmera, por meio do acesso pelo computador.

Figura 2.2 – Instalação típica da câmera estudada por este trabalho.



FONTE: O autor (2018).

Quando uma câmera é vendida, a venda é registrada juntamente à fábrica por meio de um pedido de venda. Também ocorre o registro quando o produto é expedido ao cliente. Quando é eventualmente recebida para manutenção, o técnico responsável registra no sistema a qual cliente a câmera pertence. Também é registrado o tempo de utilização do equipamento, comparando-o por meio de seu rastreio, com o registro de sua expedição. Concluída análise, é então registrada uma descrição da falha. Os componentes efetivamente substituídos são então listados, caso o reparo seja possível e autorizado pelo cliente.

O cliente, por sua vez, ao receber o produto, pode instalar o equipamento ou mesmo mantê-lo em estoque. Sendo assim, não se sabe com precisão a data de operação inicial efetiva do equipamento. O armazenamento para uso posterior é considerado, portanto, algo comum na utilização deste equipamento. Além disso, é de conhecimento da fábrica que uma pequena parte dos equipamentos pode ter sofrido algum tipo de vandalismo ou ter sido furtado. Equipamentos que receberam este tipo de fim não são contabilizados nos registros de serviço de manutenção, pois dificilmente são devolvidos à fábrica.

## 2.4 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma breve história do surgimento de equipamentos para ITS, contexto no qual o objeto de estudo deste trabalho está inserido. Também foi esclarecido sobre seu funcionamento básico e, a dinâmica de informações na empresa em que o equipamento é projetado e produzido.

Para que a análise dos dados seja realizada, é importante o entendimento da origem das informações, uma vez que os dados registrados são a matéria-prima para o desenvolvimento da análise.

As informações apresentadas são de importância para a compreensão da análise dos dados, descrita no capítulo 5.

No próximo capítulo serão apresentados conceitos da engenharia de confiabilidade, os quais serão utilizados na análise descrita no capítulo 4.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta conceitos necessários para a compreensão das análises e conclusões que serão realizadas nos próximos capítulos.

#### 3.1 CONFIABILIDADE

FOGLIATTO (2009) define que “a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas”. O autor explica que o item ao qual a definição se refere depende do estudo em particular. Um item pode ser considerado como um sistema, este constituído por diversos componentes, outrora pode ser um componente em especial. Por se tratar de uma probabilidade, a confiabilidade de um item é um número entre 0 e 1.

A definição de confiabilidade toca na definição de propósito especificado. Um produto pode ser fabricado em diversas versões, cada uma delas para atender um uso específico (ou mesmo mais de um). Como exemplifica FOGLIATTO (2009), uma furadeira pode ser fabricada destinada a uso doméstico, mas uma outra versão pode atender o uso industrial. Outra definição importante é o período de tempo. Isto porque quando se espera que um item desempenhe uma função, propósito especificado, espera-se que ele desempenhe esta função por determinado período de tempo. Não se pode esquecer das condições ambientais predeterminadas. Quando um item é projetado, seu uso é avaliado para certas condições ambientais, como temperatura, umidade, vibração, dentre outros. Se as condições as quais o item estiver exposto forem alteradas, não se pode esperar a mesma confiabilidade, pois não foi projetado para estas novas condições que foi exposto.

Segundo RAUSAND(2003), o objetivo principal dos estudos de confiabilidade é a criação de informação para tomadas de decisão. A confiabilidade tem suas aplicações em diversas áreas, como listado pelo autor:

- Análise de riscos, envolvendo a análise dos eventos, suas causas e consequências;

- Proteção ambiental: a confiabilidade poder ser empregada para garantir o funcionamento regular de sistemas antipoluentes, por exemplo;
- Qualidade, pois muitas vezes a confiabilidade é tratada como um aspecto de qualidade;
- Otimização da manutenção e operação, na prevenção de falhas de um sistema e também assegurar o retorno do sistema após uma falha, em tempo adequado;
- Projetos de engenharia, nos quais a confiabilidade é buscada junto ao projeto, como nas indústrias de energia, aviação e automotiva, por exemplo;
- Verificação da qualidade e confiabilidade: a preocupação de atender requisitos baseados em segurança e riscos ambientais trazem à confiabilidade mais uma aplicação.

Precisa-se definir o que é um sistema não reparável. Quando um item é tratado como não reparável, como traz RAUSAND(2003), apenas a primeira falha do item é de interesse no estudo. Na prática, um item pode ser fisicamente não reparável, sendo assim simplesmente descartado após sua falha. Um item não precisa ser fisicamente insubstituível para trata-lo como não reparável em uma análise de confiabilidade, porém a análise não irá estudar o que poderia vir a acontecer após uma substituição de um item, quando estuda-se itens reparáveis. A Figura 3.1 exemplifica o estado de um item não reparável. Nesta figura, o estado do item é representado por  $X(t)$ , que pode assumir valor 0 ou 1, falha ou funcionamento, respectivamente, para um instante de tempo  $t$ . Pode-se identificar o ponto de falha, indicado na figura, que é quando  $X(t)$  tem seu valor alterado de 1 para 0. Pode-se identificar também o tempo até falha, representado na imagem por  $T$ . O tempo de falha nem sempre é medido em unidade de tempo. Ele pode também ser medido, por exemplo, em número de ciclos de operação, quilômetros, rotações, etc.

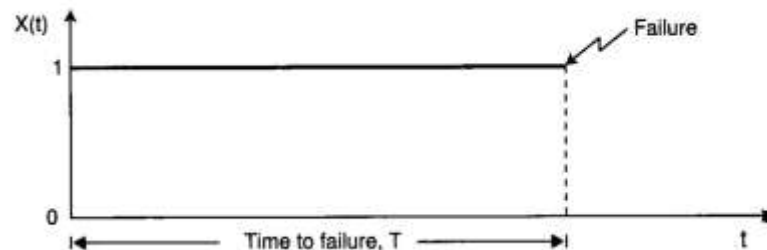
No estudo de um item não reparável pode-se definir algumas métricas de confiabilidade, como:

- Confiabilidade: função  $R(t)$
- Taxa de falha: função  $z(t)$

- Tempo médio de falha: *MTTF*

Para que se possa calcular estas métricas, necessita-se modelar a vida do item. Tal modelagem é realizada ajustando os dados de falha do item à distribuições estatísticas como: exponencial, gama, Weibull, normal, lognormal, dentre outras.

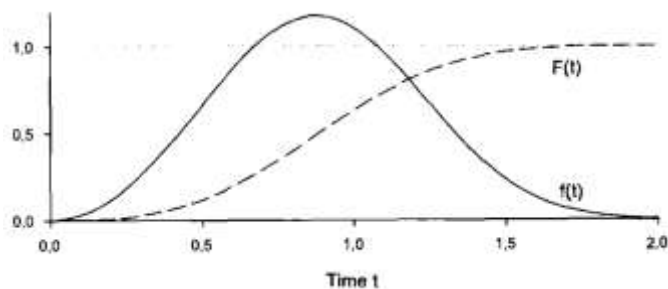
Figura 3.1 - Estado de um item não reparável.



FONTE: RAUSAND(2003).

Considerando que o tempo de falha de um item está distribuído continuamente no tempo e de forma aleatória, define-se a função densidade de probabilidade  $f(t)$ , assumindo-se para isso que  $T$  é uma variável contínua. Um exemplo de função  $f(t)$  pode ser visualizada na Figura 3.2.

Figura 3.2 - Função Densidade de Probabilidade  $f(t)$  e Função de Probabilidade Acumulada  $F(t)$ .



FONTE: RAUSAND(2003).

A função  $F(t)$ , que também está representada na Figura 3.2, é chamada de probabilidade acumulada de falha, definida pela integral da função densidade de probabilidade no tempo, equação 3.1, como segue:

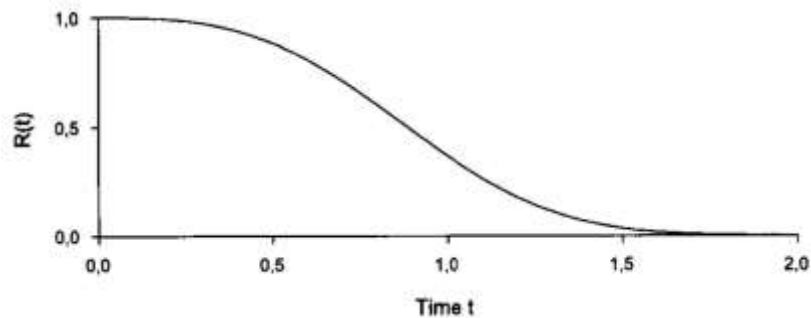
$$F(t) = \int_0^t f(u) du \quad (3.1)$$

A falha é geralmente uma variável discreta, mas que pode ser aproximada por uma variável contínua no tempo.



A confiabilidade é representada pela função  $R(t)$  e um exemplo gráfico pode ser visto na Figura 3.3. Observa-se que  $R(t)$  é decrescente no tempo e é a probabilidade de que o item não falhe em um certo intervalo de tempo analisado. Percebe-se que, no instante 0 a confiabilidade do item é 1 (ou 100%). A expressão matemática que define a confiabilidade pode ser conferida na equação 3.2.

Figura 3.3 - Função Confiabilidade  $R(t)$ .



FONTE: RAUSAND(2003).

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(u) du = \int_0^{\infty} f(u) du \quad (3.2)$$

Adicionalmente, RAUSAND(2003) define a função taxa de falha como  $z(t)$ , e sua expressão matemática corresponde a equação 3.3. A taxa de falha representa, fisicamente, a propensão a falha que o item apresenta, após já estar em funcionamento por um determinado tempo  $t$ .

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.3)$$

Chama-se de tempo médio até falha (MTTF – *Mean Time To Failure*) de um item a definição apresentada pela equação 3.4. Esta métrica aplica-se apenas a sistemas não-reparáveis.

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (3.4)$$

STAPELBERG (2009) defende que, para a maioria dos casos de engenharia, a utilização da distribuição de Weibull pode ser adequada. Isto porque a distribuição de Weibull pode representar diferentes taxas de falhas e não apenas constante, como é o caso de uma distribuição de probabilidade exponencial.

A função densidade de probabilidade de um distribuição Weibull biparamétrica é descrita pela equação 3.5. A confiabilidade dada pela distribuição de

Weibull é apresentada na equação 3.6; a função probabilidade acumulada de falha na equação 3.7 e a taxa de falha na equação 3.8. Nestas equações  $\beta$  é denominado parâmetro de forma da distribuição de Weibull. Já  $\mu$ , por sua vez, é a vida característica ou então denominado como parâmetro de escala. Finalmente,  $t$  é o tempo de operação do item.

$$f(t) = \frac{\beta t^{(\beta-1)} e^{-t/\mu^\beta}}{\mu^\beta} \quad (3.5)$$

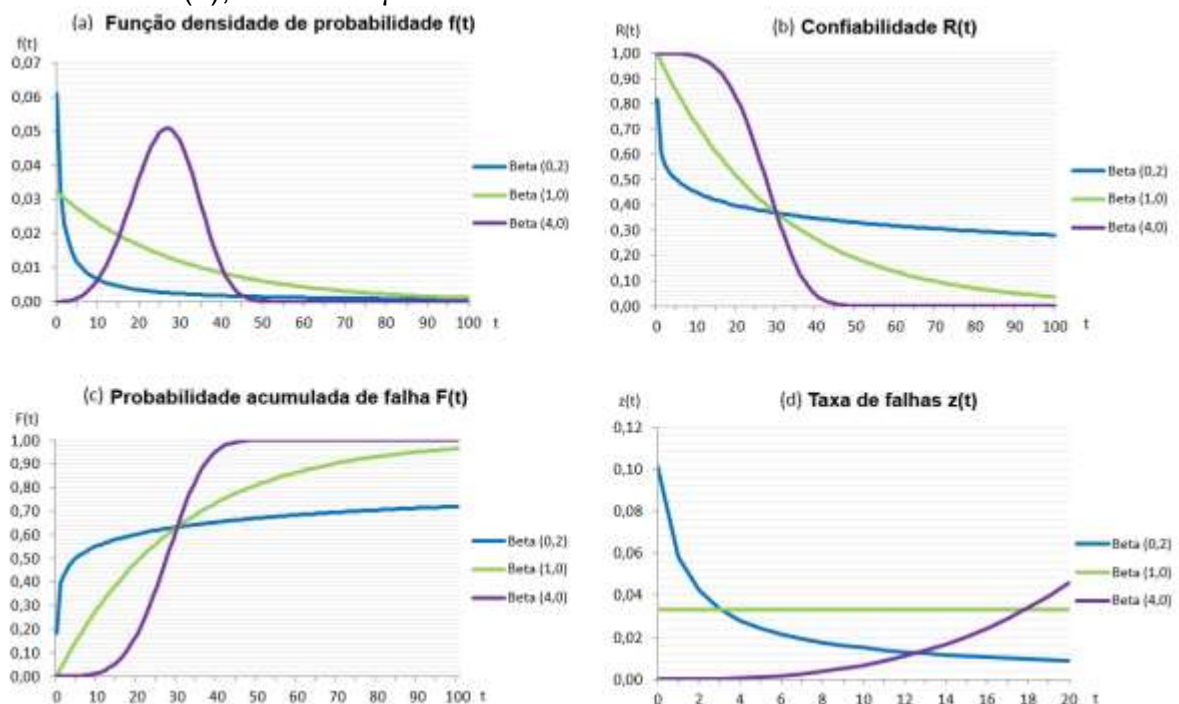
$$R(t) = e^{-t/\mu^\beta} \quad (3.6)$$

$$F(t) = 1 - e^{-t/\mu^\beta} \quad (3.7)$$

$$z(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\mu^\beta} \quad (3.8)$$

A função densidade de probabilidade  $f(t)$  pode assumir diferentes formas, em função do parâmetro de forma  $\beta$ , como pode ser observado na Figura 3.4. Quando  $\beta < 1$  a função  $f(t)$  assume forma assintótica nos dois eixos. Para  $\beta = 1$  a função  $f(t)$  da distribuição de Weibull é idêntica à  $f(t)$  de uma distribuição exponencial. Para valores maiores que 1 para o parâmetro de forma, a função densidade de probabilidade assume forma de sino.

Figura 3.4 - Influência do parâmetro de forma em na função densidade de probabilidade (a); confiabilidade (b); probabilidade acumulada de falha (c) e função taxa de falhas (d), utilizando  $\mu = 30$ .



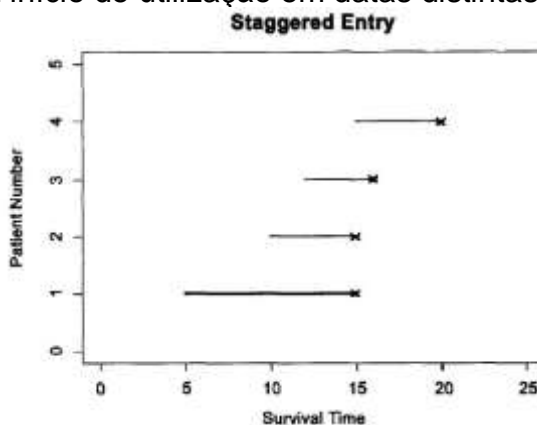
FONTE: O autor (2018).

Sob o ponto de vista da taxa de falha, explica RAUSAND(2003), que, quando o parâmetro de forma é igual a unidade, a função taxa de falha é uma constante. Quando  $\beta > 1$ , a função taxa de falha é crescente. Por sua vez, quando  $0 < \beta < 1$ ,  $z(t)$  é decrescente.

### 3.2 ANÁLISE DE DADOS DE VIDA

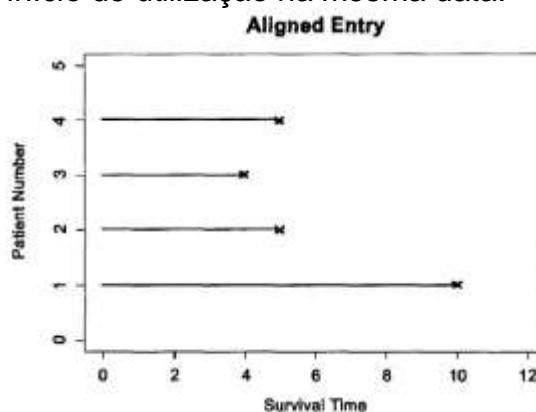
Como apresentado por DESHPANDE (2005), os itens a serem analisados devem ser tão mais parecidos quanto possível, na origem do tempo de análise (em  $t = 0$ ). A data inicial de utilização dos itens comumente não é a mesma. Portanto, os tempos de falha de cada item deve ser tomada com relação a data início de utilização do próprio item. A Figura 3.5 exemplifica tempos de falha para itens com início de utilização em datas distintas, e a Figura 3.6 tempos de falha para itens utilizados a partir da mesma data.

Figura 3.5 – Itens com início de utilização em datas distintas.



FONTE: DESHPANDE (2005).

Figura 3.6 – Itens com início de utilização na mesma data.



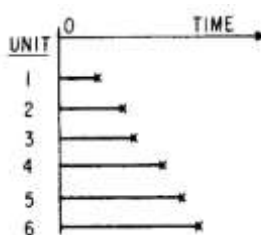
FONTE: DESHPANDE (2005).

É importante que o conceito de falha seja definido com precisão, para cada análise realizada, segundo DESHPANDE (2005). O mesmo é citado também por NELSON (1982). Este ainda adiciona que, para alguns casos, a falha pode ser considerado como falha catastrófica, e em outros como perda de desempenho. No último caso citado é mais difícil identificar exatamente quando ocorreu a falha. Da mesma forma, é importante definir criteriosamente o que é considerado como o início da utilização do item.

Quanto aos dados utilizados, NELSON (1982) alerta sobre a importância de coletar dados válidos sobre as amostras em observação. O autor cita que, na prática é comum assumir que amostras representam uma população, e que neste caso, amostras de uma segunda população não podem ser utilizadas para tirar conclusão sobre a primeira.

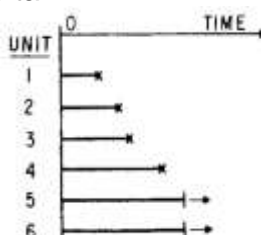
NELSON (1982) faz duas classificações quanto aos tipos de dados. São denominados de dados completos quando todos os itens observados possuem tempo de falha determinado, isto é, todos os itens observados falharam, como exemplificado na Figura 3.7. Quando não se sabe qual foi a data em que pelo menos um item falhou, os dados são chamados de incompletos. Neste caso, pode-se ainda classificar como censurados à direita (dados com suspensões à direita) e censurados à esquerda (dados com suspensões à esquerda). A Figura 3.8 mostra o caso de dados censurados à direita: as amostras 5 e 6 não falharam no momento final da coleta de dados, e têm-se as datas de falha dos itens 1 a 4.

Figura 3.7 – Dados completos.



FONTE: NELSON (1982).

Figura 3.8 - Dados censurados à direita.



FONTE: NELSON (1982).

Outro conceito importante para a análise de dados de vida é a de intervalo de confiança e nível de confiança. Como explicado por NELSON (1982), o nível de confiança estima quanto preciso as estimativas estatísticas sob uma amostra são, em comparação com uma população.

### 3.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O texto deste capítulo detalha a definição de confiabilidade, assim como faz um descritivo com relação ao tempo de falha. Também é apresentada uma discussão a respeito da distribuição de Weibull de dois parâmetros.

A compreensão dos conceitos teóricos apresentados tem por fim prover base para a análise dos dados, que ocorre no próximo capítulo e utiliza distribuições de Weibull.

Foi realçado que o conceito de falha deve ser bem definido. Isto é de extrema importância não só para o levantamento dos dados, mas também para futuros julgamentos que tomam pro base este estudo.

No capítulo seguinte é realizada a análise dos dados de falha do equipamento, com base em dados registrados pela manutenção realizada. Nesta análise são acompanhados os retornos para manutenção das unidades de um

mesmo modelo de equipamento. Neste estudo as curvas probabilísticas são modeladas a partir de uma distribuição de Weibull, a qual teve sua teoria apresentada no capítulo que aqui se encerra.

## 4 ANÁLISE DOS DADOS DO EQUIPAMENTO

### 4.1 OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DOS DADOS

Inicialmente foi definido que a análise seria referente à todos os equipamentos do modelo em estudo: aqueles expedidos no mês de novembro de 2012. Sabe-se que neste mês não houve revisão do modelo e pode-se considerar que todas as amostras são semelhantes. A separação dos dados consiste em determinar os tempos de retorno para manutenção que ocorreram até junho de 2018.

Para obter os dados, a assistência técnica foi solicitada. Foi por ela disponibilizadas as planilhas contendo data de manutenção de cada equipamento retornado entre 2012 e junho de 2018. Os documentos também disponibilizam um comentário para cada equipamento retornado, descrevendo o modo de falha identificado no momento do reparo. Nos documentos de expedição pode-se encontrar a relação dos equipamentos expedidos em novembro de 2012, cada um relacionado com o seu respectivo número de controle e dados do cliente que o adquiriu. Em posse destes documentos foi possível relacionar cada equipamento expedido com sua data de retorno, quando existente.

O modelo de equipamento em estudo foi adquirido, em novembro de 2012, por 5 clientes, os quais serão tratados neste trabalho por A, B, C, D e E. Ao total foram comercializados 267 equipamentos deste modelo no período analisado. A quantidade de equipamentos expedidos para os clientes A, B, C, D e E no período é de 220, 32, 10, 4 e 1, respectivamente.

### 4.2 ANÁLISE DOS DADOS

Estudando-se a listagem dos equipamentos retornados e a observação de reparo para cada um, identificou-se 8 modos de falha. Estes foram tratados como “MF1” até “MF8” no estudo conduzido. Os dados foram organizados conforme exemplifica a Tabela 4.1. A quantidade de retornos foi relacionada por modo de falha e cliente, como pode ser visualizado na Tabela 4.2. No total houveram 30 retornos, sendo que a maior quantidade foi do cliente B. O cliente A foi o que mais adquiriu

equipamentos deste modelo, representando 82,4% das amostras estudadas. Entretanto, os três equipamentos retornados pelo cliente A no período representa 1,1% do total dos retornos. Há equipamentos que retornaram mais de uma vez. Neste estudo apenas a primeira falha de cada equipamento foi considerada, ou seja, o equipamento foi tratado como um item não reparável.

Tabela 4.1 – Disposição dos dados para processamento.

| Cliente | Tempo (dias) | Falha (f) Suspensão(s) | MF |
|---------|--------------|------------------------|----|
| C       | 50           | f                      | 2  |
| C       | 50           | f                      | 7  |
| C       | 50           | f                      | 7  |
| C       | 65           | f                      | 2  |
| C       | 98           | f                      | 2  |
| C       | 98           | f                      | 2  |
| C       | 98           | f                      | 2  |
| B       | 398          | f                      | 1  |
| B       | 398          | f                      | 5  |
| B       | 524          | f                      | 3  |
| A       | 545          | f                      | 6  |
| A       | 545          | f                      | 4  |
| B       | 622          | f                      | 8  |
| ...     |              |                        |    |

FONTE: O autor (2018).

Tabela 4.2 – Quantidades de cada modo de falha discriminadas por cliente.

| Cliente      | Modo de falha |     |     |     |     |     |     |     | Retorno por cliente | Vendas por cliente |
|--------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|--------------------|
|              | MF1           | MF2 | MF3 | MF4 | MF5 | MF6 | MF7 | MF8 |                     |                    |
| A            | 0             | 0   | 1   | 1   | 0   | 1   | 0   | 0   | 3                   | 220                |
| B            | 3             | 2   | 8   | 1   | 1   | 0   | 0   | 2   | 17                  | 32                 |
| C            | 0             | 6   | 0   | 1   | 0   | 0   | 2   | 0   | 9                   | 10                 |
| D            | 0             | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                   | 4                  |
| E            | 0             | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1                   | 1                  |
| <b>TOTAL</b> | 3             | 9   | 9   | 3   | 1   | 1   | 2   | 2   | 30                  | 267                |

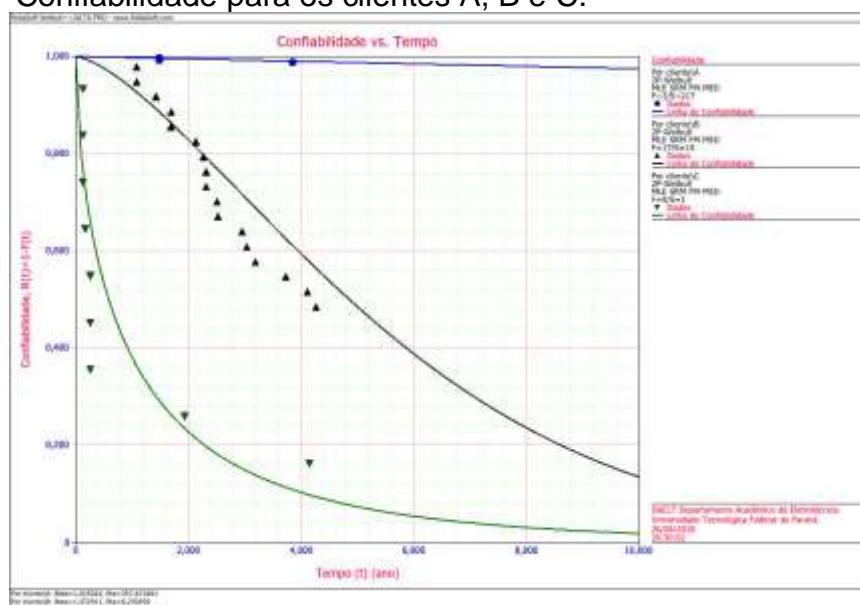
FONTE: O autor (2018).

Ajustou-se, então, uma distribuição de Weibull para os clientes A, B e C, como mostra a Figura 4.1. Para isso utilizou-se o software Weibull++, da Reliasoft,



que determina os parâmetros da distribuição estatística utilizando o estimador de máxima verossimilhança. O cliente D não apresentou retornos de campo no período analisado, apresentando portanto apenas suspensões à direita e impossibilitando o ajuste de uma distribuição de falhas. O cliente E, por sua vez, adquiriu apenas 1 equipamento no período, e apresentou falha. Para este caso preferiu-se não ajustar uma distribuição, pois é de grande incerteza a distribuição dos retornos, uma vez que a quantidade de amostras é pequena para este cliente. Os parâmetros da distribuição de Weibull encontrados para os clientes A, B e C podem ser os apresentados na Tabela 4.3.

Figura 4.1 - Confiabilidade para os clientes A, B e C.



FONTE: O autor (2018).

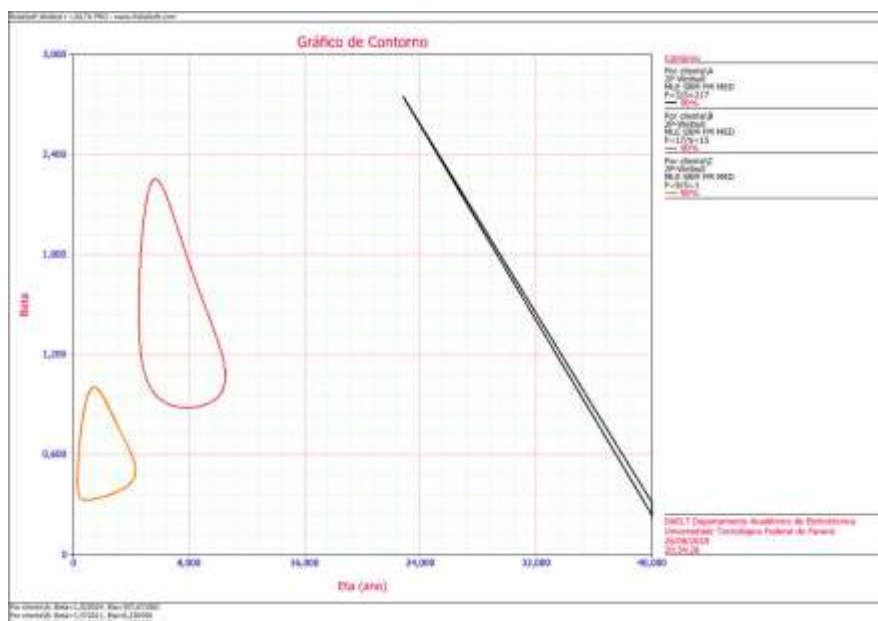
Tabela 4.3 - Parâmetros da distribuição de Weibull e MTTF encontrados para os clientes A, B e C.

| Cliente | Parâmetro de forma | Vida característica (anos) | MTTF (anos) |
|---------|--------------------|----------------------------|-------------|
| A       | 1.025024           | 357.67161                  | 354.0665    |
| B       | 1.472011           | 6.230456                   | 5.6378      |
| C       | 0.618649           | 1.058675                   | 1.5324      |

FONTE: O autor (2018).

Observando a Figura 4.1 e a Tabela 4.3, nota-se que há significativa diferença entre a distribuição estatística encontrada para cada cliente. Os dados do cliente A levaram a uma vida característica muito elevada e, o parâmetro de forma indica comportamento de falha muito próximo do aleatório, caracterizado quando o parâmetro é igual a unidade. As amostras do cliente B levaram a um fator de forma maior que um, indicando comportamento de falha típico de desgaste, no qual a taxa de falha é crescente. Para os dados do cliente C o ajuste indicou um parâmetro de forma menor que um, revelando falhas precoces, encontradas no início da vida do produto. A Figura 4.2 mostra o gráfico de contorno das distribuições destes clientes: no eixo vertical é representado o parâmetro de forma e no horizontal a vida característica, para um limite de confiança de 90%. A figura comprova que, de fato, as distribuições de cada cliente podem ser consideradas distintas, pois não há intersecção alguma entre os contornos. Percebe-se claramente também que o parâmetro de forma de cada um dos clientes é significativamente distinto. Para o cliente A, a região do contorno ficou muito estreita, em função da observação de poucas falhas (3) no período. Mesmo assim pode-se notar que a vida característica para a amostragem do cliente A é demonstrada em uma região bem superior em relação aos outros clientes.

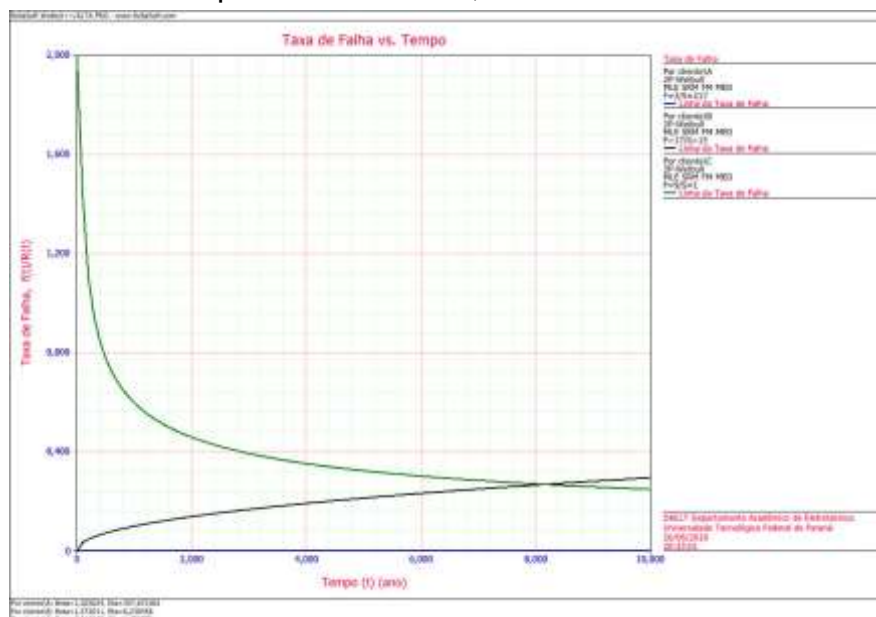
Figura 4.2 - Gráfico de contorno para as distribuições de Weibull dos clientes A, B e C.



FONTE: O autor (2018).

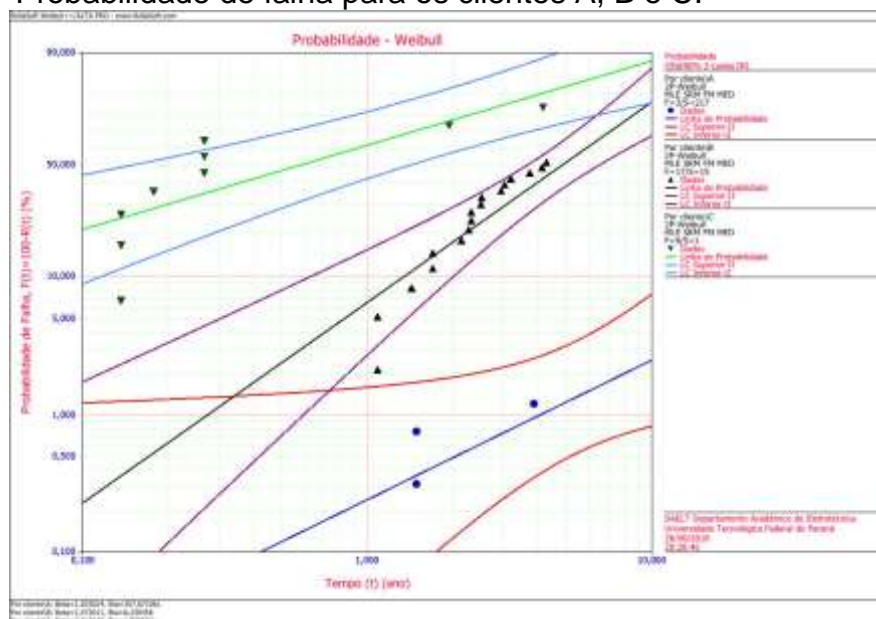
Adicionalmente, pode-se encontrar na Figura 4.3 taxa de falha para os clientes A, B e C. Percebe-se uma taxa de falha praticamente constante para o cliente A; uma taxa de falha crescente para o cliente B; uma curva de taxa de falha decrescente para o cliente C. A Figura 4.4 exibe a probabilidade de falha, com limite de confiança bilateral de 90%.

Figura 4.3 - Taxa de falha para os clientes A, B e C.



FONTE: O autor (2018).

Figura 4.4 - Probabilidade de falha para os clientes A, B e C.



FONTE: O autor (2018).

Para melhor compreender os resultados obtidos na análise segmentada por cliente, apresenta-se a Tabela 4.4, com a descrição de cada modo de falha. Foi plotada também a confiabilidade para cada modo de falha, por cliente, como consta nas figuras do Apêndice A. A Tabela 4.5 exibe os parâmetros da distribuição de Weibull obtidos para cada um dos modos de falha, por cliente.

Tabela 4.4 - Relação dos modos de falha.

| <b>Modo de falha</b> | <b>Descrição</b>             |
|----------------------|------------------------------|
| <b>MF1</b>           | Sem defeito                  |
| <b>MF2</b>           | Surto elétrico               |
| <b>MF3</b>           | Elementos de conexão/fixação |
| <b>MF4</b>           | Infiltração de líquidos      |
| <b>MF5</b>           | Defeitos de soldagem         |
| <b>MF6</b>           | Câmera travada por software  |
| <b>MF7</b>           | Defeito na I/O               |
| <b>MF8</b>           | Elemento ótico               |

FONTE: O autor (2018).

Tabela 4.5 - Parâmetros de Weibull para os modos de falha, por cliente.

| <b>Cliente</b> | <b>MF1</b> |       | <b>MF2</b> |       | <b>MF3</b> |       | <b>MF4</b> |       | <b>MF5</b> |        | <b>MF6</b> |       | <b>MF7</b> |       | <b>MF8</b> |       |
|----------------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|--------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|                | $\beta$    | $\mu$ | $\beta$    | $\mu$ | $\beta$    | $\mu$ | $\beta$    | $\mu$ | $\beta$    | $\mu$  | $\beta$    | $\mu$ | $\beta$    | $\mu$ | $\beta$    | $\mu$ |
| <b>A</b>       |            |       |            |       | 2,89       | 35,10 | 0,77       | 5718  |            |        | 0,77       | 5718  |            |       |            |       |
| <b>B</b>       | 1,55       | 18,74 | 1,63       | 22,43 | 1,65       | 9,53  | 1,07       | 99,29 | 0,75       | 375,92 |            |       |            |       | 1,49       | 26,21 |
| <b>C</b>       |            |       | 0,60       | 2,06  |            |       | 4,88       | 5,71  |            |        |            |       | 0,45       | 25,79 |            |       |
| <b>D</b>       |            |       |            |       |            |       |            |       |            |        |            |       |            |       |            |       |
| <b>E</b>       |            |       | 1,00       | 3,72  |            |       |            |       |            |        |            |       |            |       |            |       |

FONTE: O autor (2018).

O cliente B foi o único a retornar equipamentos classificados como “Sem defeito” (Figura A.1), o que indica dificuldades na utilização do mesmo.

Já para o segundo modo de falha da lista, “Surto elétrico”, houve retorno dos clientes B, C e E. Espera-se, de forma geral, que surtos elétricos sejam aleatórios. Porém, obteve-se como parâmetro de forma de 1,632 para o cliente B e de 0,595 para o cliente C, utilizando-se uma distribuição Weibull 2 parâmetros. Para o cliente C, a indicação aponta para falhas precoces do equipamento, enquanto que

para o cliente B há uma degradação, caracterizada pelo parâmetro de forma maior que um. Para o cliente E, assumiu-se fator de forma igual a um, a fim de estimar a confiabilidade com somente uma falha encontrada no período. É importante ressaltar que qualquer decisão com relação ao cliente E deve envolver julgamento de engenharia, pois a única amostra observada foi retornada com falha. A Figura A.2 mostra a confiabilidade para estes casos. Pela grande discrepância entre os valores do parâmetro de forma encontrado para cada um destes clientes, é muito provável que, na realidade, não se trate efetivamente do mesmo modo de falha.

O terceiro modo de falha, conforme Figura A.3 apresentou comportamento de desgaste para os dois clientes em que foi encontrado, A e B, porém com parâmetro de escala consideravelmente maior para o cliente B.

Os clientes A, B e C apresentaram o modo de falha 4, caracterizada pela infiltração de líquidos no equipamento, devido à falta de proteção na instalação. Conforme a Figura A.4, os parâmetros de Weibull encontrados são bem distintos para cada cliente, considerando a modelagem por Weibull 2 parâmetros. Assim como mencionado para o modo de falha “MF2”, em função da grande variação do parâmetro  $\beta$ , muito provavelmente os clientes apresentaram modos de falha distintos para este caso.

As Figura A.5 e Figura A.6 revelam a confiabilidade para os modos de falha “MF5” e “MF6”, respectivamente. Ambos foram representados por uma distribuição Weibull 2 parâmetros e revelaram parâmetro de forma menor que um.

Para os defeitos encontrados nas interfaces de entrada e saída de sinais, modo de falha “MF7” (Figura A.7), percebe-se um comportamento de falha por mortalidade infantil. Acredita-se que os operadores não tinham familiaridade com o equipamento, submetendo-o à condições fora da especificação.

Conforme confiabilidade da Figura A.8, o modo de falha 8 possui parâmetro de forma maior que 1, que pode ser justificado por uma possível condição do modo em que foi instalado.

### 4.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Desdobrou-se neste capítulo a análise com base nos dados de vida do equipamento. Pode-se determinar os parâmetros da distribuição de Weibull por cliente e também por modo de falha.

Foi possível distinguir os clientes por meio das curvas de probabilidade encontradas e também determinar o MTTF para cada cliente. Foi verificado que cada cliente pode ter uma expectativa muito distinta do equipamento. Isso pode ser confirmado também pela análise por modos de falha, que revelou parâmetros muito distintos para cada cliente, quando um mesmo modo de falha ocorre.

Este capítulo encerra aqui a análise qual terá suas conclusões finais expressas no capítulo próximo.

## 5 CONCLUSÃO

Foi possível notar grande diferença no comportamento do retorno de campo dos distintos clientes. O cliente A, que mais adquiriu equipamentos, teve um percentual de retorno baixo. Isso deve-se ao fato do cliente já possuir familiaridade com o equipamento e sua instalação, prolongando a vida útil do mesmo. O fator de forma para as amostras deste cliente ficou próximo de um, indicando taxa de falha constante. O cliente C, por sua vez, não possui familiaridade com o equipamento, o que justifica um fator de forma menor que a unidade, pois indica que está tendo dificuldades na operação inicial do mesmo. Era esperado, também, que o cliente B apresentasse parâmetros da distribuição de Weibull intermediários entre o cliente A e C, como de fato ocorreu. O cliente D adquiriu apenas 4 unidades no período, mas possui tempo de experiência com o equipamento, não retornando algum sequer com falha. O MTTF do cliente A foi o mais alto, estimado para 354 anos, pois seus dados continham muitas suspensões, elevando o tempo médio de falha. É provável que em uma análise que considera um tempo de observação maior, outros modos de falha sejam detectados, e o MTTF, nesta estimativa, seja menor. O cliente B apresentou um MTTF de 5,64 anos, e o cliente C de 1,53 anos. Estes números indicam que estes clientes enfrentaram maiores dificuldades na utilização do equipamento, ou então impuseram-no condições de uso mais severas.

Considerando-se um mesmo modo de falha que ocorreu em mais de um cliente, como é o caso do modo de falha “MF4”, percebeu-se grande diferença nos valores do fator de forma e escala entre os clientes. É desejável avaliar se, de fato, trata-se fisicamente do mesmo modo de falha. Contudo, o tempo de observação das amostras pode ser considerado como pequeno, ao menos para os casos em que apenas uma falha foi encontrada, podendo gerar discrepâncias como as observadas no caso citado.

Os dados de expedição e falha foram obtidos por meio dos registros de fábrica e assistência técnica. Estas informações foram utilizadas para estimar a confiabilidade do equipamento. É necessário ressaltar que, há situações que o equipamento pode ter falhado e não ter sido retornado para reparo, não havendo registro de falha.

As análises foram realizadas separando os dados por cliente. Seria interessante realizar uma análise considerando os locais de instalação, distinguindo-

os. Esta é uma limitação que não pode ser transposta no trabalho atual em função das limitações dos dados.

O estudo realizado comprova a importância do monitoramento da confiabilidade dos equipamentos, pois é possível identificar potenciais de melhoria nos mesmos e também nos serviços prestados relacionados ao produto.

### 5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de trabalhos futuros tem-se a expansão para outros equipamentos da empresa, assim como a investigação profunda dos modos de falha encontrados nos mesmos. Sugere-se também a implementação de um registro padronizado dos modos de falha durante o processo de reparo. Esta melhoria elimina a necessidade de uma análise posterior ao reparo, melhorando a qualidade dos dados.

Entendendo que o cliente pode aperfeiçoar-se tecnicamente e treinar seus colaboradores que realizam as instalações e operam os equipamentos, é desejável uma análise do crescimento da confiabilidade. Tal estudo possibilita o acompanhamento da condição de uso do cliente, e avaliar se o suporte técnico está sendo eficaz na solução das dificuldades encontradas em campo.



## REFERÊNCIAS

- DESHPANDE, J. V., PUROHIT S.G. **Life Time Data: Statistical Models and Methods**. Vol.11. World Scientific, 2005.
- FOGLIATTO, Flávio S., RIBEIRO, José Luís D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Elsevier Editora, 2009.
- NELSON, Wayne. **Applied Life Data Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1982.
- RAUSAND, Marvin, HØYLAND, Arnljot. **System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications**. 2ªed. New York: Wiley-Interscience, 2003.
- SILVA, E. L, MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4ªed. Florianópolis: LED/PPGEP/UFSC, 2005.
- STAPELBERG, Rudolph F. **Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design**. Springer, 2009.
- SUSSMAN, Joseph M. **Perspectives on Intelligent Transportation Systems**. Cambridge: Springer, 2005.
- SWINGLER, Jonathan. **Reliability Characterisation of Electrical and Electronic Systems**. Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 74. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015.
- <http://www.radaraltovale.com/noticia/antenado/leitores-de-placas-para-cobranca-de-pedagio-em-bombinhas-comecam-a-ser-instalados-15391#.WpHg8ujwYkk>. Acesso em: 24 fev. 2018.

## **APÊNDICE A – GÁFICOS DA CONFIABILIDADE POR MODO DE FALHA**

Figura A.1 – Confiabilidade para o modo de falha “MF1”, cliente B

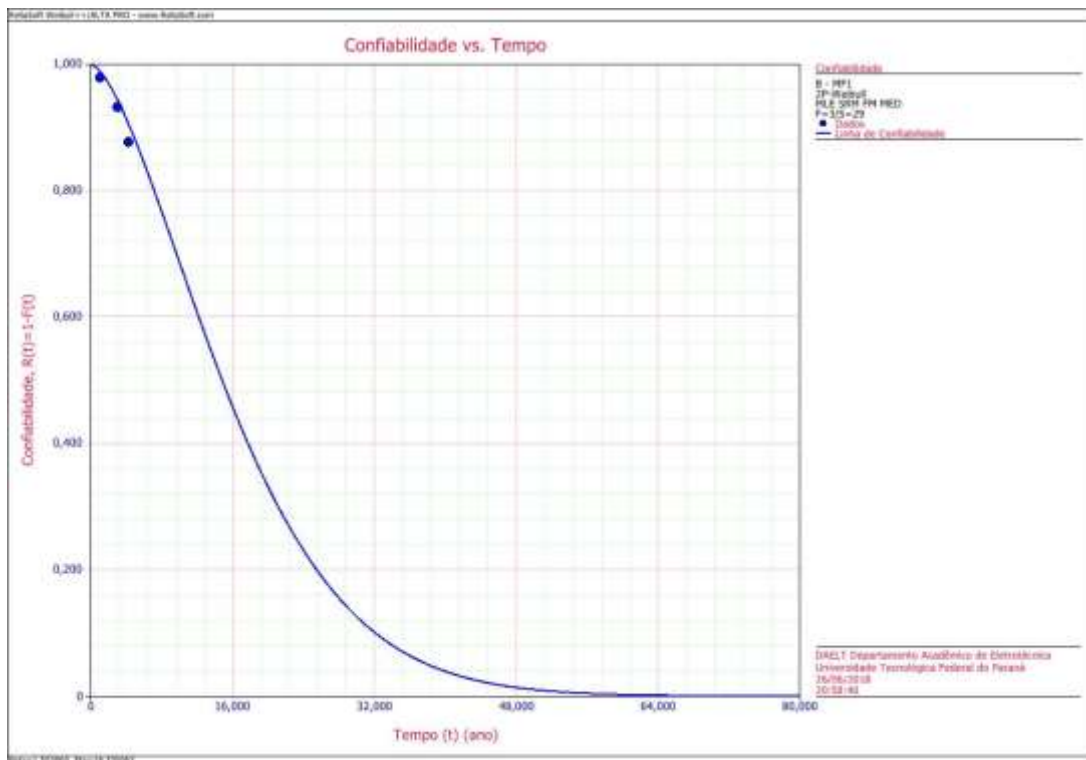


Figura A.2 – Confiabilidade para o modo de falha “MF2”, clientes B, C e E.



Figura A.3 – Confiabilidade para o modo de falha “MF3”, clientes A e B.

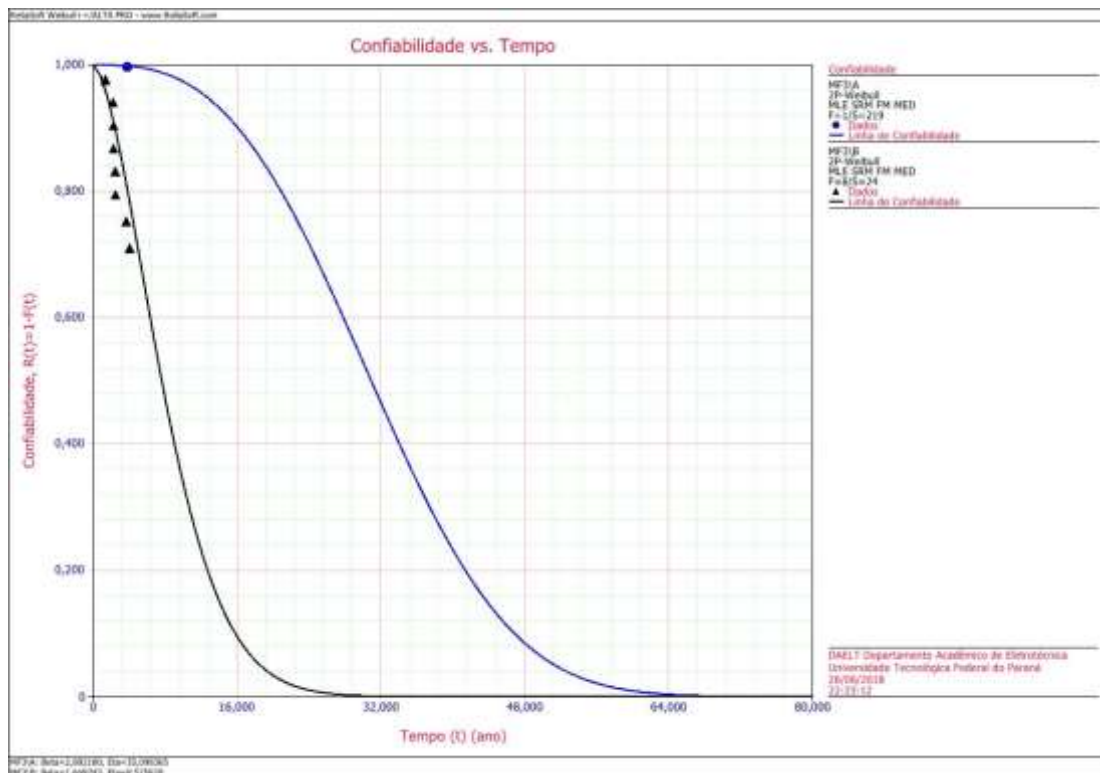


Figura A.4 – Confiabilidade para o modo de falha “MF4”, clientes A, B e C.

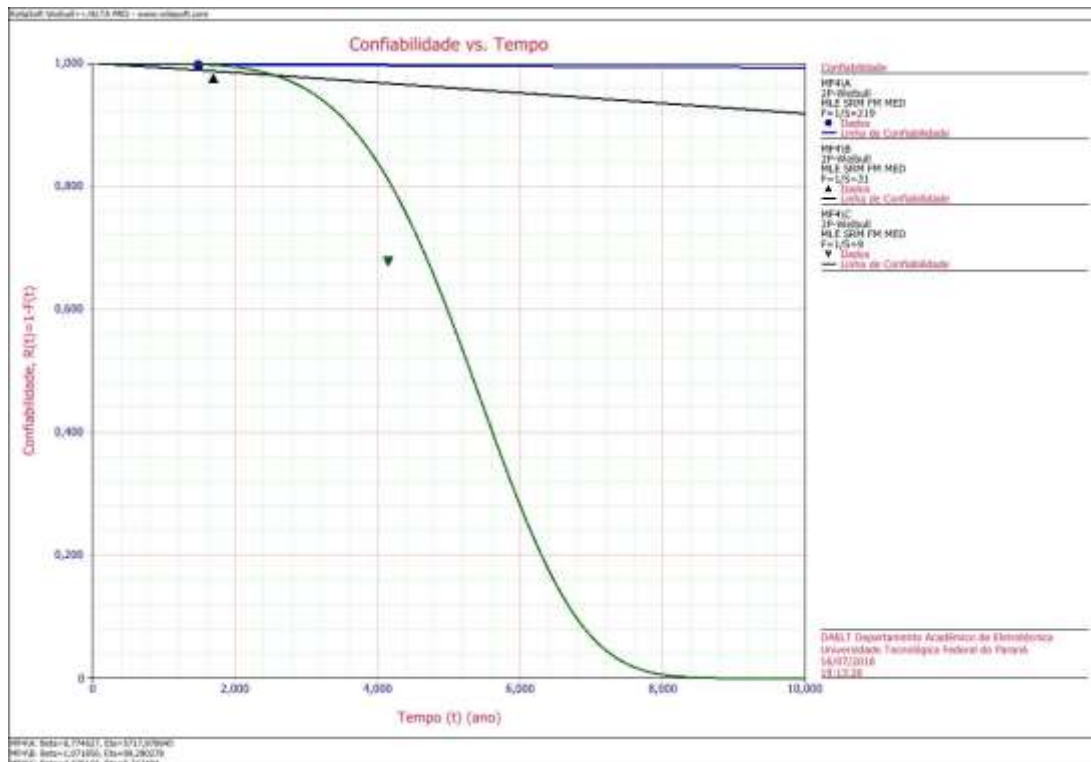


Figura A.5 – Confiabilidade para o modo de falha “MF5”, cliente B.

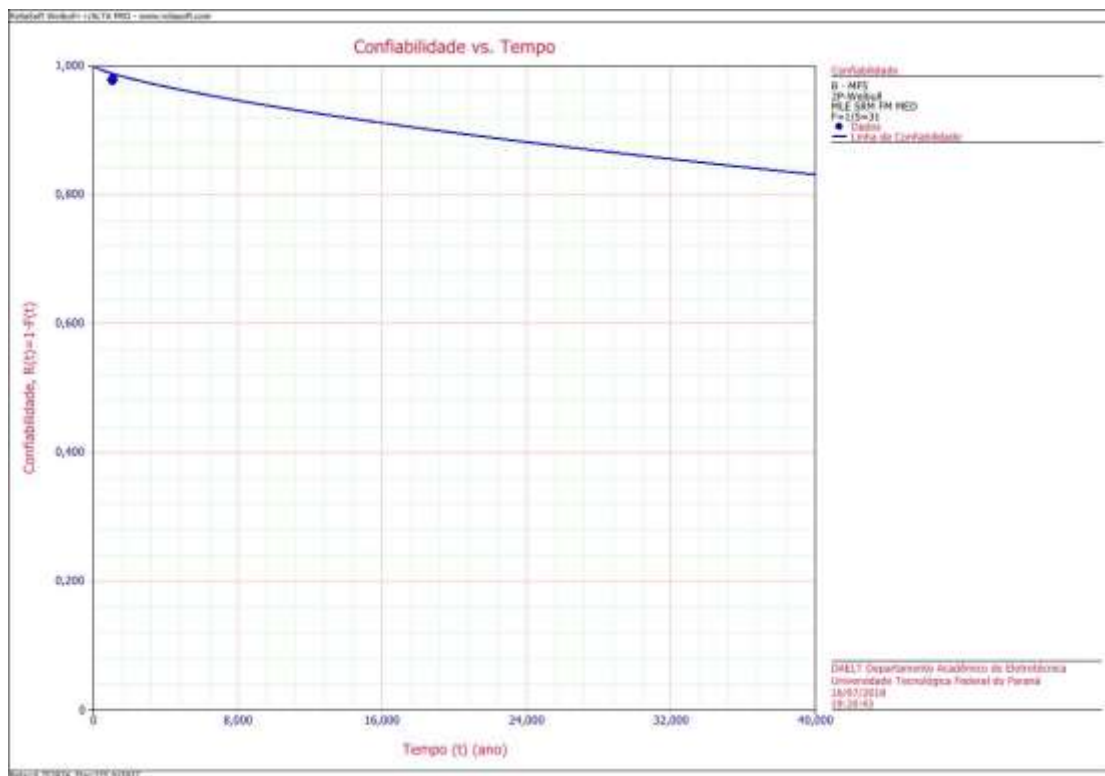


Figura A.6 – Confiabilidade para o modo de falha “MF6”, cliente A.

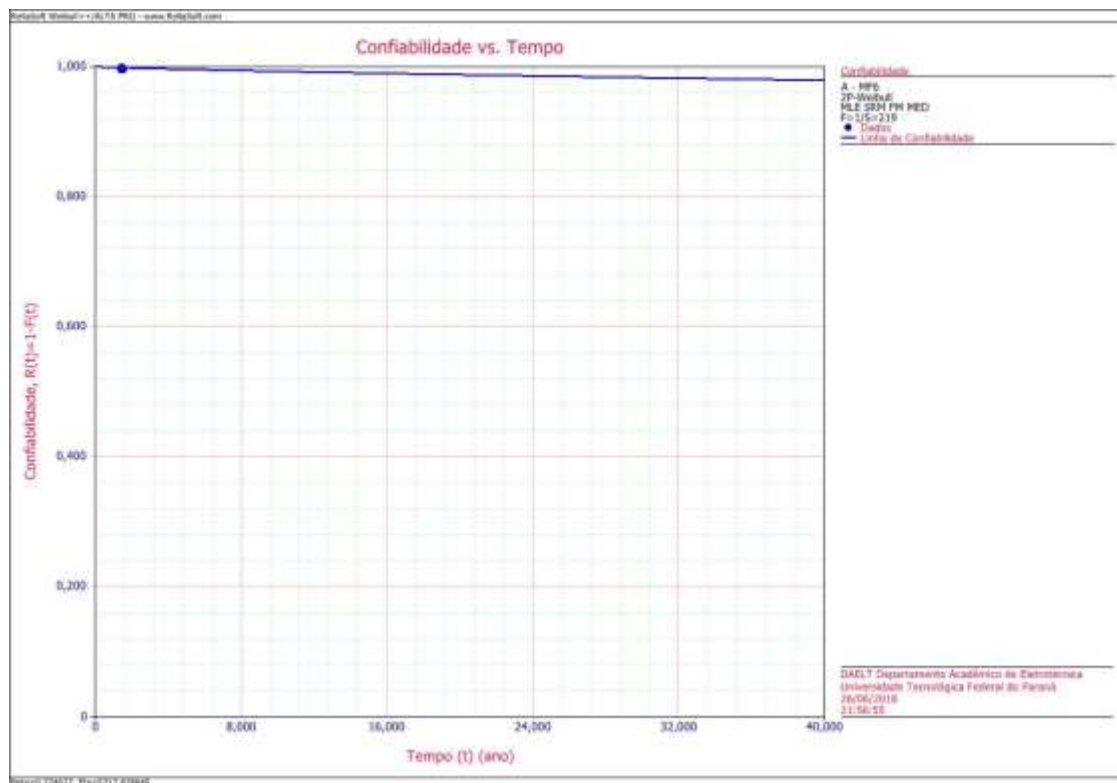


Figura A.7 – Confiabilidade para o modo de falha “MF7”, cliente C.



Figura A.8 – Confiabilidade para o modo de falha “MF8”, cliente B.

