

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

RONALDO DA SILVA OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE PARA
ANÁLISE DE DADOS DE CAMPO**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2018

RONALDO DA SILVA OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE PARA
ANÁLISE DE DADOS DE CAMPO**

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. Emerson Rigoni

Co-orientador: Prof. Dr. Claudio Spanó

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

APLICAÇÃO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE PARA ANÁLISE DE DADOS DE CAMPO

por

RONALDO DA SILVA OLIVEIRA

Esta monografia foi apresentada em 29 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.

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.
Professor Orientador - UTFPR

Prof. Carlos Henrique Mariano Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.
Membro Titular da Banca - UTFPR

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

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho especialmente a minha esposa e filha que me apoiaram nos dias de ausência e ao meu pai que me ajudou na logística nos dias de aula em São Paulo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos professores do curso que me proporcionaram um aumento do meu conhecimento e visão sobre a confiabilidade como um todo.

Aos colegas de sala também segue um agradecimento pelas experiências compartilhadas.

À minha família pelo apoio incondicional.

E aos meu orientadores Prof. Emerson Rigoni e Prof. Claudio Spanó, pelo apoio e pelos conhecimentos transmitidos que contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

OLIVEIRA, Ronaldo da Silva. **APLICAÇÃO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE PARA ANÁLISE DE DADOS DE CAMPO**. 2018. 69f. Monografia do curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

Este trabalho visa propor a aplicação da metodologia do Crescimento da Confiabilidade utilizando um software para sistemas reparáveis em campo por meio da coleta dos dados dos componentes, com o objetivo de analisar o desempenho atual e projetar o desempenho futuro a fim de se comparar com o método utilizado pela média (MTBF) usualmente empregado. A motivação para utilização dessa metodologia foi a que ela se mostra como um modelo com mais condições de se tomar decisões em relação ao desempenho de um componente reparável em campo. A pesquisa utiliza um estudo de caso, é qualitativa e gera conhecimentos para a aplicação prática, dirigidos a solução de problemas específicos. Seus resultados permitem tirar as conclusões necessárias utilizando comparações com o que é feito atualmente. O objetivo proposto foi atingido aplicando-se a metodologia de Crescimento da Confiabilidade devido a qualidade e precisão dos valores apresentados, acarretando um melhor entendimento do produto como um todo, onde pode-se destacar: seu desempenho atual e futuro, as influências dos seus modos de falha, reanálise do projeto quanto ao atendimento de requisitos de confiabilidade e uma previsão precisa de estoques.

Palavras-chave: Confiabilidade. Crescimento da Confiabilidade. Sistemas Reparáveis. Tempo Médio entre falhas. MTBF.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Ronaldo da Silva. **APPLICATION OF RELIABILITY GROWTH FOR FIELD DATA ANALYSIS**. 2018. 69f. Monografia do curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

This study aims to propose the application of the Reliability Growth methodology using a software for repairable systems in the field through the collection of the component data, with the objective of analyzing the current performance and projecting the future in order to compare with the average method (MTBF) which is usually applied. The motivation for using this methodology was that it is proven as a model with more conditions to make decisions regarding the performance of a repairable component in the field. This research uses a case study, is qualitative and generates knowledge for the practical application, directed to the solution of specific problems. The results allow the user to draw the necessary conclusions comparing to what is currently done. The proposed objective was achieved by applying the Reliability Growth methodology due to the quality and precision of the presented values, resulting in a better understanding of the product, for example: its current and future performance, the influences of its failure modes, the project reanalysis related to accomplishment of reliability requirements and an accurate inventory forecast.

Keywords: Reliability. Reliability Growth. Repairable Systems. Mean Time Between Failures. MTBF.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Ciclo ideal de reparo de um componente.....	21
Figura 2.2 - Sistema de ar condicionado da aeronave estudada	24
Figura 2.3 - Detalhes do compressor	25
Figura 2.4 - Detalhes do compressor (vista traseira).....	26
Figura 3.1 - Crescimento potencial do MTBF	32
Figura 3.2 - Fases Crescimento da Confiabilidade.....	33
Figura 3.3 - Testa-Corrige-Testa	34
Figura 3.4 - Testa-Encontra-Testa	35
Figura 3.5 - Testa-Corrige-Encontra-Testa.....	35
Figura 4.1 - Tela de inserção dados software RGA.....	43
Figura 4.2 - Tela inicial do software RGA	44
Figura 4.3 - Tela de configuração da planilha de dados.....	45
Figura 4.4 - Fator de eficácia.....	46
Figura 4.5 - Tela principal do software	47
Figura 4.6 - Tela principal do software	49
Figura 4.7 - Tela principal do software	51
Figura 4.8 - Resultado gráfico de Operação do sistema	52
Figura 4.9 - Resultado gráfico de Crescimento Potencial de MTBF	53
Figura 5.0 - MTBF Compressor (cálculo atual).....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Relação de remoções em campo do compressor	27
Tabela 2.2 - Relação de falhas das remoções	28
Tabela 4.1 - Relação de remoções em campo do compressor	42
Tabela 4.2 - Relatórios de Resultados	48
Tabela 4.3 - Relatório de resultados	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

LISTA DE ABREVIATURAS

Spec. Specification

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	Advisory Circular
AMSAA	Army Material Systems Analysis Activity
CDM	Compressor Drive Module
DC	Direct Current
DMTBF	Demonstrated Mean Time Between Failure
FAA	Federal Aviation Administration
HPP	Homogenous Poisson Process
LRU	Line Replaceable Unit
MTBF	Mean Time Between Failure
NHPP	Non Homogenous Poisson Process
PMTBF	Projected Mean Time Between Failure
RGA	Reliability Growth Analysis
TTF	Time to Failure
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
IATA	International Air Transport Association

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	TEMA DA PESQUISA	14
1.2	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.3	OBJETIVOS	16
1.3.1	Objetivo Geral.....	16
1.3.2	Objetivo Específico.....	16
1.4	JUSTIFICATIVA	17
1.5	METODOLOGIA.....	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE INICIAL DOS DADOS	20
2.1	PROCESSO DE COLETA DE DADOS	20
2.2	PROCESSO DE COLETA DE DADOS	22
2.3	INDICADOR DE MTBF.....	22
2.4	SISTEMA DE AR CONDICIONADO DA AERONAVE	23
2.5	EQUIPAMENTO MÓDULO DE UNIDADE DO COMPRESSOR	25
2.6	PROBLEMAS ENCONTRADOS NO COMPRESSOR	27
2.7	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO	29
3	CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE	30
3.1	ANÁLISES DE PROCESSOS ESTOCÁTICOS.....	30
3.2	CONCEITO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE	31
3.3	TIPOS DE TESTE	34
3.3.1	Testa-Corrige-Testa	34
3.3.2	Testa-Encontra-Testa.....	35
3.3.3	Testa-Corrige-Encontra-Testa	35
3.4	TIPOS DE DADOS	36
3.5	MODELOS UTILIZADOS.....	36
3.5.1	Modelo Duane	36
3.5.2	Modelo Crow-AMSAA.....	37
3.5.3	Modelo <i>Crow Extended</i>	37
3.5.4	Modelo Standard Gompertz.....	38
3.5.5	Modelo Lloyd-Lipow.....	38
3.5.6	Modelo Logistic.....	38
3.5.7	Modelo Power Law	38
3.6	SISTEMAS REPARÁVEIS.....	39
3.7	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO	40
4	ANÁLISE FINAL DOS DADOS E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA	42
4.1	TRATAMENTO DOS DADOS	42
4.2	APLICAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CONFIABILIDADE.....	44
4.2.1	Modelo utilizado.....	45
4.2.2	Fator de eficácia	46
4.2.3	Geração dos resultados	47
4.2.4	Relatório de Resultados	47

4.2.5	Resultados gráficos	50
4.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
4.4	COMPARAÇÃO COM MÉTODO ALTERNATIVO	54
4.5	CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO	55
5	CONCLUSÕES	56
5.1	DIFICULDADES ENCONTRADAS E SOLUÇÕES.....	56
5.2	TRABALHOS FUTUROS.....	57
	REFERÊNCIAS.....	59
	APÊNDICE A – TABELAS COM INFORMAÇÕES DE CAMPO DOS COMPONENTES ESTUDADOS.....	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DA PESQUISA

Em um ambiente competitivo, as companhias aéreas são continuamente obrigadas a melhorar seus negócios para permanecer rentáveis. Concentrando-se na operação de aeronaves, isso pode ser conseguido com reduções nos custos operacionais e aumentos das receitas. O potencial significativo para realizar reduções adicionais do custo e aumentos da disponibilidade da aeronave é visto na área da manutenção. A manutenção correspondeu a 17% dos custos totais de operadores com receitas superiores a 100 milhões de dólares em 2013 (FAA, 2013).

A manutenção de aeronaves não programada é a que afeta mais o operador pois não foi planejada e pode ocorrer a qualquer momento, desde um mais crítico (durante o voo) ou antes de decolar, acarretando atrasos e cancelamentos de voos.

Por isso que se faz necessário a implementação de um monitoramento (programa de confiabilidade) preciso das falhas dos componentes, quando estes ocorrem, a fim de se obter as informações de comportamento (distribuição estatística) e para uma identificação das causas das falhas. Isto pode levar a uma modificação do próprio componente, evitando que novas falhas ocorram e suas consequências (segurança, atrasos, cancelamentos) e a um conhecimento mais preciso de previsão de estoques. Consequentemente, os custos relativos a uma manutenção não programada diminuirão.

Uma aeronave quando entra em operação após a entrega pelo fabricante tem muitas variáveis que podem influenciar no seu desempenho. Desde a correta manutenção e operação por parte do operador até itens/componentes que não foram devidamente testados no próprio fabricante (testes de maturidade). Isso acarreta falhas não programadas que podem ser prematuras em alguns casos.

O componente então acaba sendo removido (remoções não programadas) impactando o cliente que pode ter atrasado ou cancelado um voo e a imagem do produto (aeronave) fica comprometida.

Além disso, quando maior o tempo de um avião no chão, menor o lucro do operador.

O fabricante por sua vez tem um enorme gasto com suporte técnico e logístico de prover outro componente o mais rápido possível para que o cliente volte a operar o avião.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O operador recebe a aeronave e começa a operá-la de acordo com sua necessidade. Porém, podem ocorrer problemas de qualidade ou projeto do produto em si. Nestes casos o fabricante é devidamente informado para que uma rápida solução ocorra a fim de se evitar maiores prejuízos.

Todo esse processo de coleta e identificação do problema e, além disso, geração de indicadores para ajudar busca de problemas mais frequentes e/ou tendências, fazem parte do monitoramento do produto. Esse monitoramento é chamado de Programa de Controle de Confiabilidade e são recomendados pelas agências reguladoras de cada país como, por exemplo, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no Brasil.

O objetivo principal de qualquer programa de confiabilidade de aeronaves é a coleta de dados e informações e sua análise estatística para obter um *feedback* valioso com os dados sobre irregularidades desenvolvidas em operação para uma transportadora aérea e um fabricante (DOMITROVIĆ, BAZIJANAC e ALIC-KOSTEAIC, 2012).

Existe uma norma da agência de aviação dos Estados Unidos, chamada de AC 120-17A (FAA, 1978) que estabelece que os dados coletados podem ser de vários tipos, como por exemplo: falhas reportadas pelo piloto/manutenção, lista de remoções dos componentes, quantidade de atrasos/cancelamentos de voos, entre outros. Além disso, sugere uma medida de desempenho com base estatística, que podem ser expressados numericamente em termos de número de falhas de componentes (ou eventos) por horas de voo, só para termos como exemplo.

Para essa monografia, o ponto que será estudado é a remoção não programada de componentes no que diz respeito ao seu indicador de tempo médio entre falhas chamados de MTBF (*Mean Time Between Failures*) que será explorado nos capítulos seguintes.

A equipe de confiabilidade (do fabricante) é demandada por outras áreas da empresa para disponibilizar um status de MTBF atual e futuro, no qual ajudaria o planejamento de estoque dos novos componentes e também de cobrança ao fornecedor, caso a nova solução não atingisse os valores de MTBF que foram acordados em contrato. Nesse caso, uma nova revisão seria solicitada ao fornecedor ou até um novo projeto para este componente.

O problema como um todo para a equipe de confiabilidade do fabricante é de disponibilizar valores de MTBF atuais e futuros, baseados nas correções dos modos de falha identificados. Atualmente o tempo necessário é muito grande para que se consiga coletar dados representativos e o cálculo é muito genérico baseado na média, o que tira a precisão das informações.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Propor a aplicação da metodologia do Crescimento da Confiabilidade através do software RGA para sistemas reparáveis em campo através da coleta dos dados dos componentes antes de serem modificados e uma projeção de qual será o desempenho caso alguns modos de falha forem corrigidos, com uma comparação com o que foi estabelecido em contrato.

1.3.2 Objetivo Específico

Este trabalho deverá também atender aos seguintes objetivos específicos para o cumprimento do seu Objetivo Geral:

- Coletar os dados de um componente de uma aeronave.
- Identificar as causas e modos de falha.
- Identificar quais serão modificados e qual o fator de eficácia.
- Calcular os valores de MTBF calculados usando a metodologia RGA.
- Comparar com os dados atualmente calculados.

1.4 JUSTIFICATIVA

A justificativa para resolver esse problema se baseia no fato de que se tivéssemos outro método que além da coleta dos tempos até a falha, analisasse também os modos de falha e, caso fossem modificados, suas eficácias para o desempenho do componente, conseqüentemente teríamos um melhor indicador e poderíamos prever os estoques de forma muito mais assertiva.

Dentro da área técnica, a aplicação do Crescimento da Confiabilidade para esse caso pode se mostrar um novo método de cálculo, já que hoje os cálculos de MTBF são feitos através de fórmulas simples ou através do software *Weibull*.

Como descrito por Crow (1990), temos pouca literatura publicada sobre confiabilidade de sistemas reparáveis. Além disso, a literatura foca apenas em sistemas não reparáveis utilizando a teoria de “tão bom quanto novo”. Isso significa que é considerado que um componente é trocado por um novo quando falha.

Essa teoria é modelada pelo Processo Homogêneo de Poisson (*Homogenous Poisson Process*, HPP) no qual o processo não muda com o tempo. Isto é, com um novo componente sendo colocado no lugar do que foi removido, a distribuição vai ser a mesma do anterior.

Esse sistema não se aplica ao caso em questão, pois o avião é complexo e geralmente os componentes são reparados quando falham. Então o uso da metodologia HPP para sistemas reparáveis não é apropriado, conforme descrito por Crow (1990).

Por isso é justificável o uso da metodologia do Crescimento da Confiabilidade, pois ele utiliza um modelo não homogêneo (NHPP) que é apropriado para esse caso.

1.5 METODOLOGIA

Essa pesquisa foi baseada em etapas, primeiramente coletando os dados de campo e separando aqueles com os dados mais completos. Após isso, as causas de falha foram identificadas juntamente com os tempos até a falha. Em seguida, os dados foram inseridos no software RGA e os resultados foram coletados. Para

finalizar o resultado foi comparado com o que já era feito anteriormente e as conclusões foram identificadas.

Pode-se afirmar que quanto à abordagem essa pesquisa se mostrou quantitativa, pois seus resultados são quantificados. Como esclarece Fonseca (2002, p.20), as amostras são grandes e representativas e os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população. Foram utilizados os dados de campo do componente em estudo que se mostraram representativos para a conclusão da pesquisa.

Quanto à natureza, a pesquisa será do tipo aplicada, pois gera conhecimentos para a aplicação prática, dirigidos a solução de problemas específicos (Silva e Menezes, 2005). A aplicação está na proposta de um novo método de cálculo do MTBF que seria mais preciso do que o usualmente calculado.

Quanto aos objetivos, esta será uma pesquisa explicativa que estará preocupada em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 2007). Ou seja, esse trabalho explicará o porquê de se utilizar um método através dos resultados oferecidos.

Quanto aos procedimentos, esta pesquisa se caracteriza pelo estudo de caso. Serão coletadas informações de um componente de aeronave e com base na aplicação da metodologia proposta serão formuladas as conclusões. Conforme Fonseca (2002 p.33), ela visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada situação que se supõe ser única em muitos aspectos, procurando descobrir o que há nela de mais essencial e característico.

A formatação desse trabalho segue as normas e recomendação da ABNT para trabalhos acadêmicos. As figuras cujas fontes não estejam citadas subentendem-se como sendo do autor.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Excluindo o capítulo 1, o presente trabalho estará estruturado da seguinte forma:

- O Capítulo 2 apresenta o componente aeronáutico estudado. Não foi dado detalhes de qual aeronave ele pertence por ser informação restrita, porém foi

informado qual é o tipo de componente e em qual tipo de aeronave ele pode ser instalado. Além disso, foi mostrado como é o processo de remoção / instalação, os problemas ocorridos em campo e a lista de componentes da amostra estudada com respectivos tempos até a falha e tipos de falha.

- O Capítulo 3 trata do referencial teórico aplicado ao trabalho, nesse caso, os conceitos do Crescimento da Confiabilidade;
- O Capítulo 4 apresenta a aplicação do Crescimento de Confiabilidade com os dados do componente em estudo;
- O Capítulo 5 mostra os resultados da aplicação com o comparativo do estado atual. Além disso, foram apresentadas as dificuldades enfrentadas ao longo do trabalho e quais podem ser os trabalhos futuros.

2 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE INICIAL DOS DADOS

Esse capítulo apresenta em detalhes o componente analisado, suas falhas e em qual contexto está inserido. Será explicado também o processo de coleta de dados de campo e os indicadores usados atualmente.

Devido à confidencialidade, apenas será mostrado qual tipo de aeronave e de qual sistema ele faz parte.

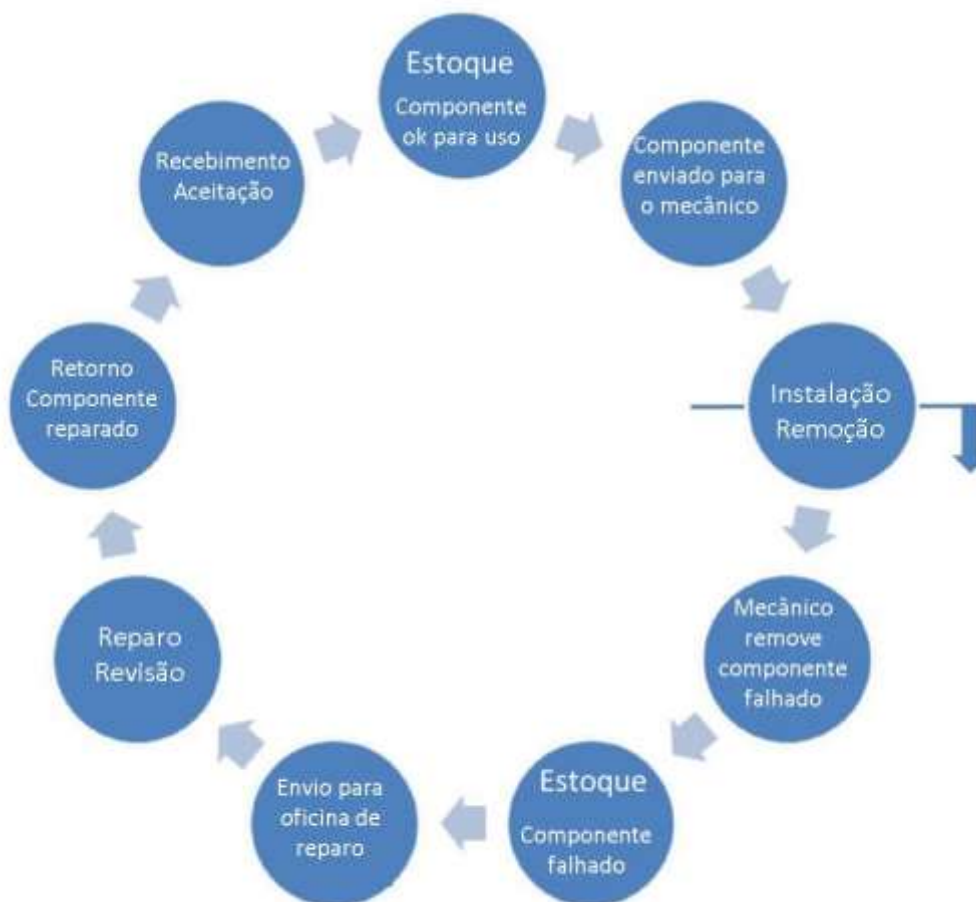
O componente está instalado em uma aeronave de pequeno porte e alto desempenho. Ele faz parte do sistema de ar condicionado, que utiliza o ciclo de vapor.

2.1 PROCESSO DE COLETA DE DADOS

Os dados de manutenção das aeronaves são gerados através de eventos reportados pelo piloto ou pela equipe de manutenção. Esses dados são inseridos no livro histórico da aeronave, conhecido como “*logbook*” e posteriormente são enviados a sistemas das oficinas de manutenção ou do próprio controle do operador.

Os dados são padronizados por uma associação de operadores, fabricantes, fornecedores e a Associação de Transporte Aéreo Internacional (IATA - *International Air Transport Association*) que representa 265 operadores sugere um ciclo de remoção e instalação de componentes nas aeronaves conforme a figura 2.1.

Figura 2.1 - Ciclo ideal de reparo de um componente



Fonte: IATA (2015, p.12)

O ciclo se inicia na fase de “Instalação/Remoção” mostrado na figura 2.1. O componente falhado é removido pelo mecânico que o envia a um estoque de peças defeituosas (fase “Estoque”). O componente então é embalado e enviado para a oficina de reparo (geralmente do próprio fabricante). A oficina analisa, faz os testes e faz o conserto desse componente (fase “Reparo/Revisão”). O componente é então retornado ao campo, indo para o estoque de algum cliente. Antes de ser recebido no estoque é feito uma inspeção (fase “Recebimento/Aceitação”) e só após a aprovação esse componente fica disponível para ser instalado novamente (fase “Estoque / Componente ok para uso”). Quando requerido o mecânico solicita o componente que está no estoque para repor algum componente que foi removido devido a falha, e então o componente que está no estoque é instalado na aeronave (fase “Instalação/Remoção”), fechando o ciclo.

A coleta de dados é feita através da informação de remoção e também do resultado do teste removido feito pela oficina de reparo. Em alguns casos, o componente é removido e não é constatada nenhuma falha no teste. Esse componente é classificado como “*No Fault Found*” (Nenhuma Falha Encontrada). No caso de se confirmar a falha, ele é classificado como “*Fault Found*” (Falha Encontrada).

2.2 PROCESSO DE COLETA DE DADOS

As definições seguem o padrão da Associação de Transporte Aéreo Internacional:

- Remoção não programada é a remoção de um componente como resultado de uma falha ou suspeita de falha que não é esperado e ocorre durante a operação normal da aeronave.
- Remoção programada é a remoção de um componente como resultado de um plano de manutenção ou atingimento/aproximação de seu limite previamente especificado (exemplo: componentes com vida limite, remoções devido à aplicação de boletins de serviço, melhorias, etc).

2.3 INDICADOR DE MTBF

O indicador segue o padrão proposto pela Associação de Transporte Aéreo Internacional que consiste em:

- Tempo médio entre falhas (MTBF – *Mean Time Between Failure*): Valor de desempenho calculado, dividindo-se as horas de voo totais acumuladas do componente de mesmo *Part Number* da frota em um período, pelo número de remoções não-programadas com confirmação de falha que ocorreram durante o mesmo período.

O valor deste indicador é baseado na média e não possui medidas de dispersão que auxiliem no conhecimento mais profundo dos dados. Isto será

questionado por este trabalho, que irá propor a utilização do crescimento da confiabilidade (mais referências no capítulo 3) visto que é um modelo mais completo de análise de desempenho de um produto.

2.4 SISTEMA DE AR CONDICIONADO DA AERONAVE

O equipamento em análise consiste no Módulo de Unidade do Compressor que faz parte do sistema de ar condicionado de um tipo de aeronave que utiliza o ciclo de vapor.

O ciclo de vapor é um sistema fechado no qual um gás refrigerante é circulado através de tubos e componentes. O objetivo é remover calor do ambiente (nesse caso a cabine de passageiros e de comando) substituindo-o por ar frio. O refrigerante muda de estado à medida que circula.

O gás utilizado é o freon. Esse sistema é bastante similar a um refrigerador ou condicionadores de ar.

O sistema é composto por compressor, condensador, reservatório, evaporador, filtro secativo, linhas para o gás freon circular, e dutos de ar para alimentar o condensador e evaporador, com ar externo e ar quente da cabine.

Um manual chamado de Aviation Maintenance Technician Handbook feito de FAA, agência reguladora dos Estados Unidos, explica detalhadamente esse ciclo. O refrigerante é filtrado e armazenado sob pressão em um reservatório. O refrigerante está em forma líquida. Ele flui do reservatório através da tubulação para uma válvula de expansão. Dentro da válvula, um pequeno orifício bloqueia a maior parte do refrigerante. Como está sob pressão, parte do refrigerante é forçado pelo orifício como um *spray* na tubulação. Isso faz com que baixe a pressão do líquido refrigerante. A tubulação segue um caminho sinuoso pelo radiador conhecido como evaporador. Uma ventoinha está posicionada para aspirar o ar da cabine sobre a superfície do evaporador. Isso facilita a troca de calor. Esse calor no ar da cabine é absorvido pelo refrigerante, que o usa para mudar o estado de líquido para vapor. O ar resfriado é retornado novamente para cabine em uma temperatura bem mais baixa.

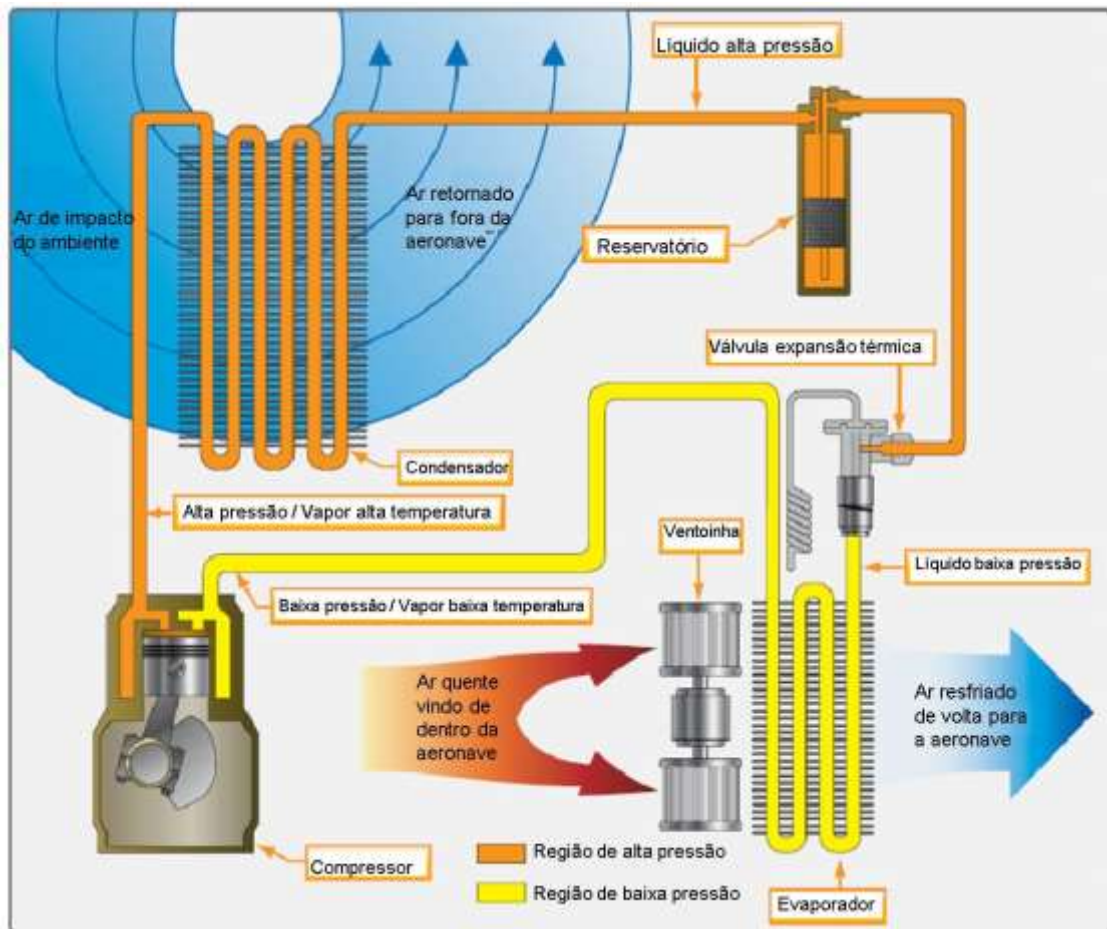
O refrigerante em estado gasoso e baixa temperatura é encaminhado para o compressor. Lá, a pressão e a temperatura do refrigerante são aumentadas. Ele então flui através da tubulação para um condensador.

O condensador é como um radiador composto por um longo tubo com aletas que promove a transferência de calor. O ar externo é direcionado sobre o condensador. A temperatura do refrigerante é mais alta que a temperatura do ar externo, então o refrigerante perde calor para o ar exterior.

A perda de calor faz com que o refrigerante esfrie e condense se tornando novamente um líquido sob alta pressão.

Com isso o ciclo se termina com o refrigerante retornando ao reservatório.

Figura 2.2 - Sistema de ar condicionado da aeronave estudada



Fonte: FAA (2012)

A figura 2.2 ilustra esse ciclo. Basicamente existem duas partes distintas do sistema de ar condicionado de ciclo de vapor. Uma que recebe calor (em amarelo) e

outra transfere calor (em laranja). Os lados referem-se para a temperatura e pressão do gás refrigerante. Como tal, o compressor e a válvula de expansão são os dois componentes que separam a parte amarela da laranja (FAA, 2012).

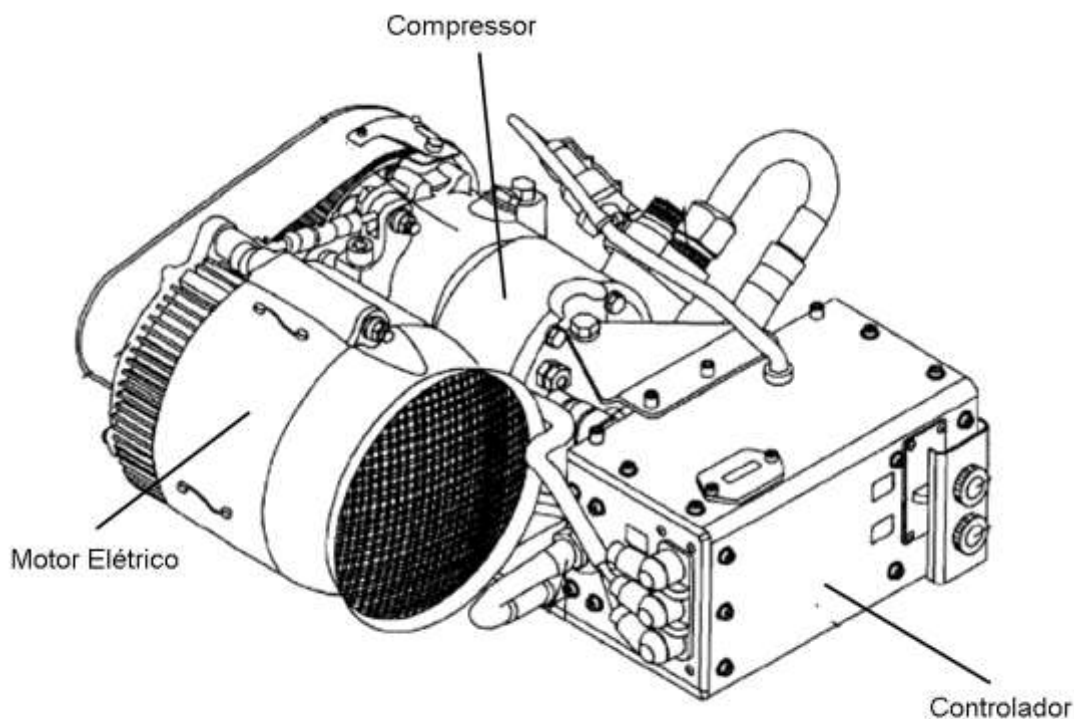
2.5 EQUIPAMENTO MÓDULO DE UNIDADE DO COMPRESSOR

O equipamento em análise consiste no Módulo de Unidade do Compressor do sistema de ar condicionado, chamado em inglês de CDM (*Compressor Drive Module*).

O compressor, como mencionado anteriormente, recebe o refrigerante em estado gasoso e baixa temperatura e internamente faz com que o gás tenha suas pressões e temperaturas aumentadas, fluindo então através da tubulação para o condensador.

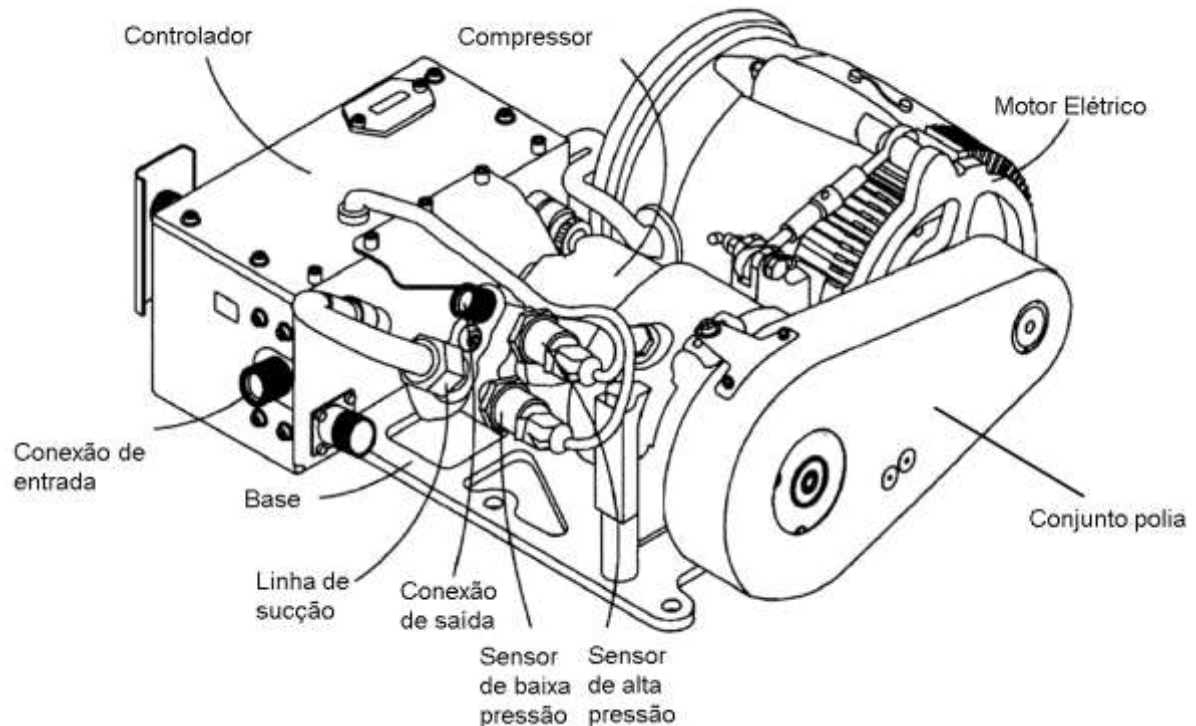
A figura 2.3 mostra o projeto básico de um típico compressor utilizado nas aeronaves estudadas nesse trabalho.

Figura 2.3 - Detalhes do compressor



A figura 2.4 mostra detalhes da vista traseira do projeto básico do compressor.

Figura 2.4 - Detalhes do compressor (vista traseira)



Fonte: FROELICH, BELSHE e RIGNEY, 2010

O Compressor consiste dos seguintes componentes principais:

- Motor Elétrico – seu design é do tipo sem escovas e possui a cinta que através de um sistema de polias, transmite a potência para o compressor (FROELICH, BELSHE e RIGNEY, 2010).
- Controlador – separado do motor e compressor, controla a operação do Motor Elétrico e recebe informações de sensores. Dentro dele existem componentes eletrônicos montados em uma placa mãe (FROELICH, BELSHE e RIGNEY, 2010).
- Compressor - contém um compressor de deslocamento variável e um conjunto de polia. Possui sensores de alta e baixa pressão cujas informações são transmitidas para o Controlador (FROELICH, BELSHE e RIGNEY, 2010).
- Sensores de pressão – monitoram a pressão no compressor.

O Compressor é montado na estrutura da aeronave através de suportes apropriados.

2.6 PROBLEMAS ENCONTRADOS NO COMPRESSOR

A medida que os aviões foram entregues e a frota foi acumulando horas de voo os problemas começaram a ocorrer.

A tabela 2.1 mostra a quantidade de remoções do compressor em um período que vai de janeiro de 2011 até março de 2016. Os dados foram coletados seguindo o processo descrito no início deste capítulo. Foram selecionados aqueles componentes com maior número de informações sobre o histórico para que a amostra ficasse significativa.

Essas informações já estão contemplando os resultados dos componentes removidos no fornecedor.

Tabela 2.1 - Relação de remoções em campo do compressor

Número Aeronave	Data da Remoção	Componente	Número de Série	Falha	TTF
118	7-jan-11	Compressor	30A	Eixo do compressor com desgaste	432
127	7-mar-11	Compressor	43A	Sensor "Hall" falhado	44,6
109	7-jun-11	Compressor	11A	Eixo do compressor com desgaste	223,9
106	13-nov-11	Compressor	16A	Eixo do compressor com desgaste	950
122	21-dez-11	Compressor	35A	Falha no controlador	291,1
132	2-fev-12	Compressor	46A	Eixo do compressor com desgaste	791
142	6-mar-12	Compressor	51A	Sensor "Hall" falhado	114,1
131	3-abr-12	Compressor	41A	Rolamento do compressor desgastado	1036,7
122	10-mai-12	Compressor	143A	Falha no controlador	87
136	2-ago-12	Compressor	56A	Eixo do compressor com desgaste	216,3

Fonte: O autor (2018)

Na tabela 2.2 observa-se um total de 82 falhas classificadas pelas maiores quantidades.

Tabela 2.2 - Relação de falhas das remoções

Falha	Qtde
Eixo do compressor com desgaste	22
Falha no controlador (placa circuito interno falhado)	18
Sensor "Hall" falhado	16
Vazamento do selo do eixo do compressor	9
Falha no controlador (transistor queimado)	5
Vibração do compressor	4
Compressor ineficiente	4
Rolamento do compressor desgastado	1
Correia do compressor desgastada	1
Sensor de baixa pressão falhado	1
Correia do compressor danificada	1

Fonte: O autor (2018)

O controlador foi o subcomponente que teve maior quantidade de falhas. Elas se deram especificamente devido a falhas de componentes internos (exemplo: transistor) devido a ineficiência da dissipação de temperatura.

A segunda maior causa de remoção foi devido ao eixo do compressor com desgaste natural pelo tempo de uso.

O Sensor "Hall" falhado também foi um item relevante. Os sensores "Hall" são elementos semicondutores que através do campo magnético medem com precisão a rotação do motor (BRAGA, 2009). Existem três sensores, um para cada fase, dentro de cada motor.

O vazamento do selo do eixo do compressor teve algumas remoções, o que foi identificado como problema de montagem ou qualidade.

Um item interessante é o número de remoções onde a falha não foi confirmada. Isso significa que o componente foi removido, mas quando foi testado no fornecedor não foi encontrada falha. Isso evidencia uma incorreta pesquisa de pane que acarretou na remoção de um componente que não estava com problema.

2.7 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados em detalhes o equipamento utilizado para a análise, desde seus componentes principais até seus problemas em campo. Foram ainda abordados em qual contexto ele se encaixa e qual tipo de sistema ele faz parte. Além disso, os conceitos utilizados no processo de coleta de dados e indicadores foram explanados e que são de especial interesse aos objetivos deste trabalho, citados no capítulo 1.

A descrição do contexto e do tipo de equipamento apresentado é de suma importância para o restante deste trabalho. Foi entendido que o componente é reparável e que a utilização do crescimento da confiabilidade é aplicável nesse caso.

A busca por um indicador mais preciso faz parte deste trabalho e a metodologia aplicada é para que esse objetivo seja atingido.

No próximo capítulo será apresentado o referencial teórico da Engenharia da Confiabilidade aplicável ao trabalho. Neste caso o Crescimento da Confiabilidade.

3 CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE

No estudo de dados de vida de componentes é necessário saber se os mesmos são reparáveis ou não. Na maioria das análises, quando um subcomponente é removido devido a uma falha, continua-se considerando que o componente mantém um comportamento tão bom quanto novo. Entretanto, este não é o caso se o componente é reparável.

Eles podem assumir vários comportamentos a medida que falham, são reparados e depois colocados de volta ao serviço. A idade do componente é basicamente a mesma que era antes da falha. Isso é chamado de "tão ruim quanto velho". Para o crescimento da confiabilidade e análise de sistemas reparáveis, os eventos que são observados fazem parte de um processo estocástico. Um processo estocástico é definido como uma sequência de interdependências de eventos aleatórios. Portanto, os eventos são dependentes e não são distribuídos de forma idêntica (RELIASOFT, 2015).

O objeto de estudo desse trabalho é um componente reparável, portanto será analisado através da metodologia do Crescimento da Confiabilidade, pois ela possibilita utilizar meios de cálculo mais precisos por se tratar de um processo estocástico. Este não poderia ser aplicado em uma distribuição *Weibull*, apesar de ser utilizada frequentemente no mercado, devido à influência dos eventos na vida de um componente reparável.

3.1 ANÁLISES DE PROCESSOS ESTOCÁDICOS

Processo estocástico é uma coleção de variáveis aleatórias que, em geral, são utilizadas para estudar a evolução de fenômenos (ou sistemas) que são observados ao longo do tempo. Assim, ao invés de se descrever o sistema através de equações determinísticas, que dado uma condição inicial, se conhece toda a evolução do sistema, vamos utilizar processos estocásticos, para o qual, dado uma condição inicial, ainda temos diversas trajetórias possíveis para a evolução do sistema (PORTAL ACTION, 2018).

Na análise de processos estocásticos, o tempo até a falha de um produto reparado pode seguir uma distribuição que é diferente da distribuição dos tempos até a falha dos produtos antes deles terem sido reparados.

3.2 CONCEITO DO CRESCIMENTO DA CONFIABILIDADE

O Crescimento da Confiabilidade é a melhora positiva na Confiabilidade (ou parâmetros) nos períodos futuros devido a mudança no projeto de um produto, equipamento ou em um processo de fabricação (RELIASOFT, 2015).

Em geral, um produto em desenvolvimento possui problemas de projeto, fabricação e/ou deficiências de engenharia que são identificados (através de testes) e se possível corrigidos. Esse processo de encontrar problemas, analisar os modos de falha, corrigir e monitorar o aumento da Confiabilidade do produto através das sucessivas fases é chamado de Crescimento da Confiabilidade.

Um programa consistente de crescimento da Confiabilidade é desenvolvido baseado em três importantes fatores (SPANÓ, 2014):

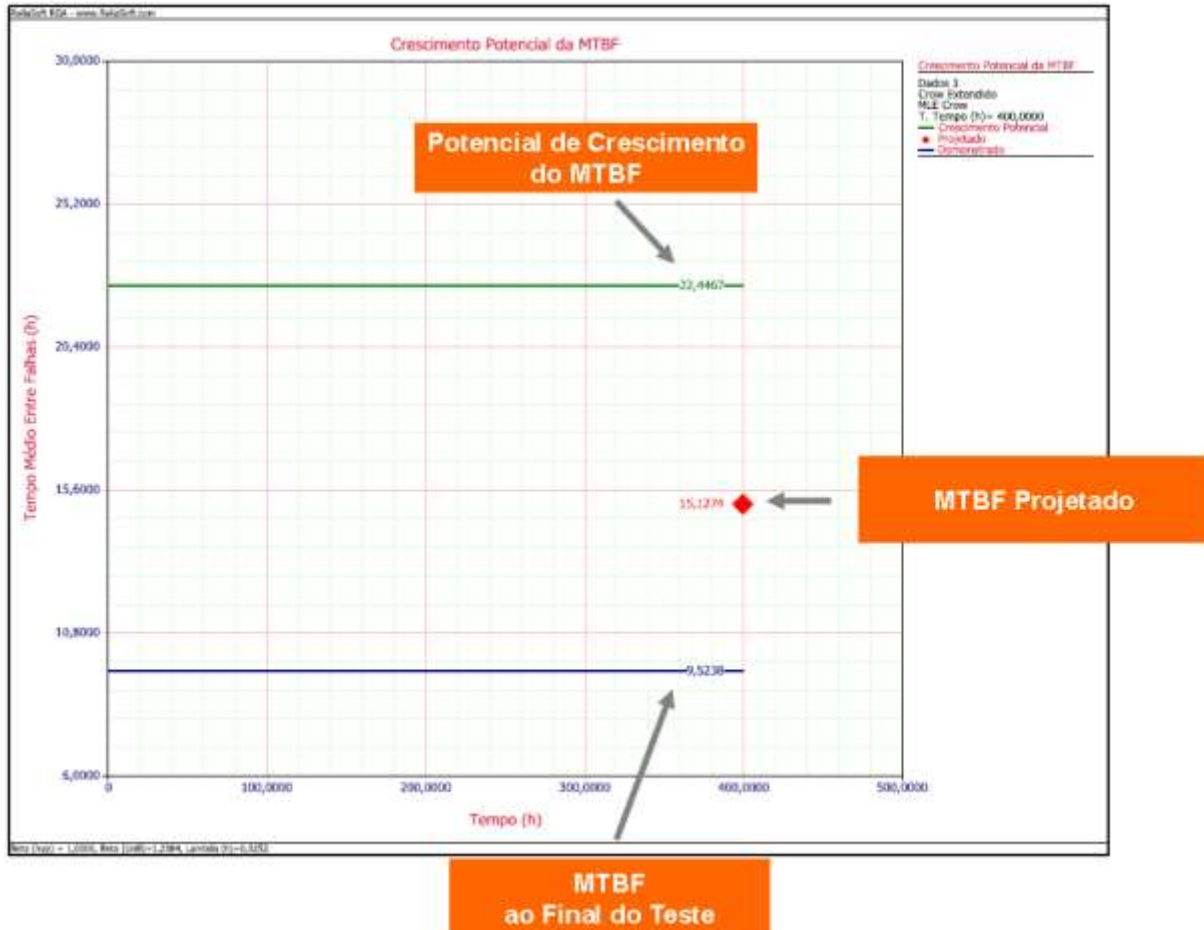
- Administração, onde as decisões são tomadas para manter o andamento do programa.
- Teste, onde toda deficiência e modo de falha são encontrados no projeto e no processo de fabricação.
- Identificação da Falha, Análises e Correções, onde a causa da falha é isolada, analisada e então corrigida.

A fim de se monitorar o desempenho de um componente inserido nesse programa, o MTBF é utilizado como indicador de monitoramento, no qual possui 3 tipos específicos:

- MTBF Demonstrado (DMTBF): é o MTBF atual do sistema ao final do teste, podendo ter ocorrido uma ação corretiva antes do final;
- MTBF Projetado (PMTBF): é o MTBF após a implementação das ações corretivas que foram postergadas, ou seja, o teste continuou e a correção de um modo de falha específico foi executada após o término do teste;

- MTBF Potencial: é o máximo MTBF que se pode atingir considerando a correção de todos os modos de falha que foram identificados.

Figura 3.1 - Crescimento potencial do MTBF



Fonte: SPANÓ (2014, p.98).

Geralmente o MTBF de um protótipo é menor do que o MTBF desejado. Se isso for identificado, então um programa de crescimento de confiabilidade é indicado. Para tanto, faz-se a análise dos modos de falha que ocorrem durante os testes e uma decisão precisa ser tomada, no que diz respeito à correção ou não deste modo de falha.

Os modos de falha que não são corrigidos são identificados como modo "A" (eventualmente foram selecionados como itens não técnicos, que não envolvem um custo alto ou outras razões) e aqueles que recebem correção são identificados como modo "B" (SPANÓ, 2014). Se a ação corretiva for eficaz para o modo "B", então a

intensidade da falha para este modo irá diminuir. A efetividade dessa ação faz parte de toda a estratégia.

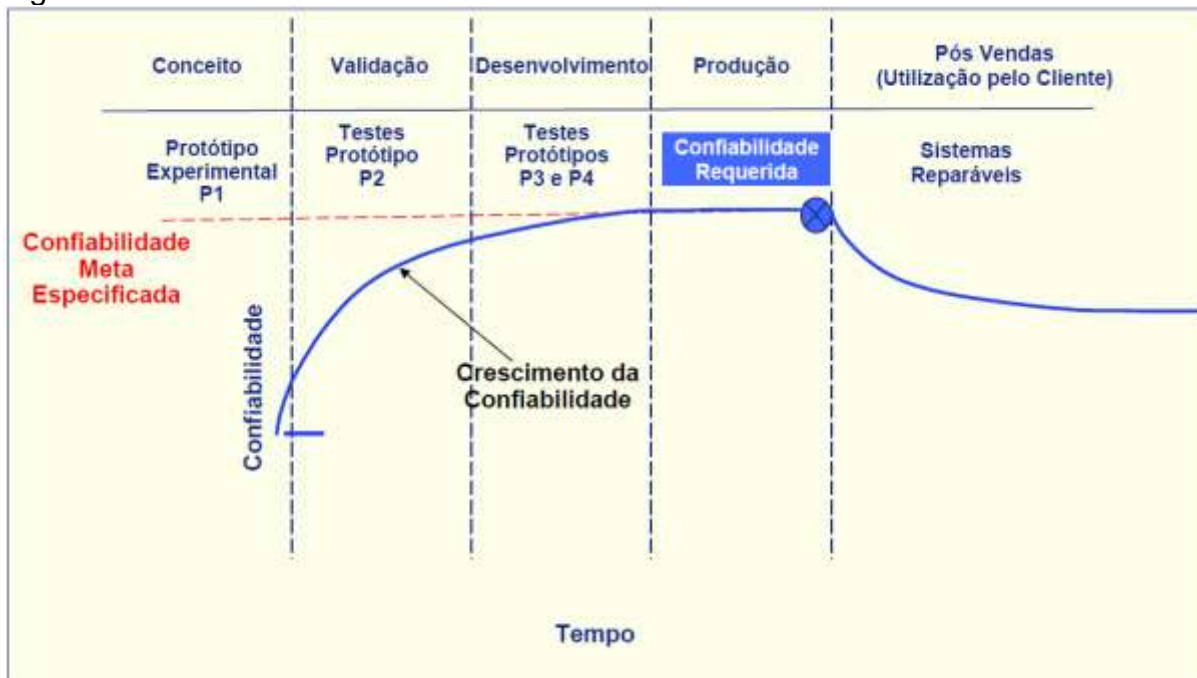
Há dois tipos de modo de falha "B": os modos "BC", que são aqueles corrigidos durante a ocorrência dos testes, e os modos "BD", que são corrigidos apenas no final do teste (são eles que vão prover um salto no MTBF se forem efetivos).

O programa de crescimento pode ser aplicado nas seguintes fases (SPANÓ, 2014):

- Teste de protótipos
- Teste de amostras gerenciadas
- Teste de pré-série
- Pós Vendas – devido a problemas de qualidade

A figura 3.2 mostra um exemplo de aplicação do crescimento de confiabilidade de acordo com as fases de um produto.

Figura 3.2 – Fases Crescimento da Confiabilidade



Fonte: SPANÓ (2014, p.159)

Este trabalho focará na fase de pós-vendas, já que o componente é reparável e a metodologia também é aplicada nesse caso.

3.3 TIPOS DE TESTE

Durante a fase de validação dos dados, testes são executados para a identificação das causas de falha e seus tempos até a falha. Dependendo da tomada de decisão no que diz respeito a corrigir ou não uma falha, têm-se os seguintes testes:

3.3.1 Testa-Corrige-Testa

As correções são incorporadas durante o teste e a confiabilidade é aumentada até o final do teste.

Figura 3.3 - Testa-Corrige-Testa



Fonte: SPANÓ (2014, p.32)

Na figura 3.3 pode-se perceber a curva de crescimento que aumenta com o tempo. Isto é possível com a correção dos modos de falha percebidos durante o teste.

3.3.2 Testa-Encontra-Testa

As correções são incorporadas após a conclusão dos testes.

Figura 3.4 - Testa-Encontra-Testa



Fonte: SPANÓ (2014, p.33).

No caso visto na figura 3.4, os componentes são testados e os modos de falha encontrados durante o teste não são corrigidos imediatamente. A confiabilidade se mantém até o final sendo identificado um salto na mesma após as correções postergadas.

3.3.3 Testa-Corrige-Encontra-Testa

Algumas correções são implementadas durante o teste e outras após sua conclusão.

Figura 3.5 - Testa-Corrige-Encontra-Testa



Fonte SPANÓ (2014, p.34).

Verifica-se nesse tipo de teste que a confiabilidade aumenta porque há correções sendo feitas, mas há também um salto no final, devido às correções postergadas.

3.4 TIPOS DE DADOS

A metodologia pode ser conduzida usando diferentes tipos de dados. Basicamente os tipos de dados podem ser (SPANÓ, 2014):

- Dados de Tempo até a Falha
- Dados Discretos (Dados de sucesso ou falha)
- Dados de Confiabilidade (Probabilidade de sucesso ou falha)

3.5 MODELOS UTILIZADOS

São vários os modelos que podem ser utilizados nas análises, dependendo do tipo de dados dos testes. Segue abaixo a relação deles e uma breve descrição:

3.5.1 Modelo Duane

Em 1962, J. T. Duane, funcionário da *General Electric Motors Division*, publicou um relatório no qual ele mostrava dados de falha de diferentes sistemas durante a fase de desenvolvimento. Enquanto plotava esses dados que eram provenientes de teste em geradores, equipamentos hidromecânicos e turbinas de aviões, Duane observou que a taxa de falha acumulada versus o tempo de teste acumulado era linear em um papel de probabilidade log-log (SPANÓ, 2014).

Esse modelo é determinístico (visão não estatística) e é aplicado com dados tipo Testa-Corrige-Testa.

3.5.2 Modelo Crow-AMSAA

Em 1974, o Doutor Larry H. Crow publicou um artigo sobre a análise de confiabilidade para sistemas complexos reparáveis (*Reliability Analysis for Complex, Repairable Systems*), onde ele observou que o modelo de Duane poderia ser formulado como um processo de Poisson Não Homogêneo com uma função de intensidade *Weibull* para modelar o sistema de tempos de falha. Essa interpretação estocástica traz os benefícios da visão estatística no modelo (SPANÓ, 2014).

Esse trabalho ocorreu enquanto ele trabalhava para o exército dos Estados Unidos, por isso foi utilizada a sigla AMSAA (*Army Material Systems Analysis Activity*).

Vale lembrar que o método é utilizado apenas para componentes que podem ser reparados e para dados tipo Testa-Corrige-Testa.

O modelo Crow pode ser também discreto, no qual é aplicado para os dados de falhas/sucesso.

3.5.3 Modelo *Crow Extended*

O modelo *Crow Extended* é uma extensão do modelo básico Crow-AMSAA.

O modelo básico segue o crescimento a partir de um programa testa-corrige-testa conforme informado anteriormente. Entretanto, o que ocorre na prática é que alguns modos são corrigidos durante o teste e outros são corrigidos somente após a finalização do teste (SPANÓ, 2014).

Isto pode ocorrer devido a complexidade do reparo ou duração de tempo necessário para se implementar a correção, com isto a opção é continuar o teste e corrigir depois.

Existe uma variação desse modelo que é o “*Crow Extended – Continuous Evaluation*”, no qual existe a flexibilidade de aplicação de ações corretivas em qualquer momento e fase do teste. Diferentemente do modelo *Crow Extended* onde para continuar o teste necessita-se corrigir os modos de falha antes (RELIASOFT, 2015).

3.5.4 Modelo Standard Gompertz

O modelo de Gompertz é geralmente utilizado quando estamos analisando dados de probabilidade de sucesso. É mais aplicado quando os dados seguem uma curva suave de aumento quando plotados no gráfico “Confiabilidade X Tempo” (SPANÓ, 2014).

A variação para o Gompertz modificado existe quando essa curva tende a ser em formato de “S”.

3.5.5 Modelo Lloyd-Lipow

Em 1962, Lloyd e Lipow consideraram uma situação na qual um programa de teste é conduzido em vários estágios e cada um deles possui uma série de amostra onde são registrados os eventos de sucesso ou falha. O resultado de cada estágio é utilizado como aprendizado para melhorar o item. Após introduzidas as melhorias nos itens, estes serão testados no próximo teste (SPANÓ, 2014).

3.5.6 Modelo Logistic

O modelo Logistic pode ser usado para dados de confiabilidade ou sucesso/falha e tem uma curva em “S” quando plotamos os dados no gráfico “Confiabilidade X Tempo” (SPANÓ, 2014).

3.5.7 Modelo Power Law

O modelo de *Power Law* é frequentemente usado para analisar a confiabilidade de sistemas reparáveis em campo. Cada sistema pode ter vários componentes e se um componente crítico falhar, o sistema pode acabar falhando. Se aquele componente é reparado e volta ao sistema, temos a seguinte situação: vários outros componentes que ainda não foram reparados, estão com horas acumuladas, diferentemente daquele que foi reparado. Isso significa que o sistema não está na condição de novo, simplesmente porque um componente foi reparado.

O tempo entre falhas de um sistema complexo como este não segue a mesma distribuição, cada vez que é reparado. Pode-se dizer que a sequência de falhas a nível de sistemas segue um processo de Poisson não homogêneo (NHPP).

Nesse caso, a primeira falha do sistema tem a distribuição $F(x)$ com uma taxa de falha $r(x)$. Cada falha seguinte possui uma intensidade de falha $u(x)$ do processo.

Considerando “ t ” como o tempo de funcionamento do sistema e assumindo que “ Δt ” é muito pequeno. A probabilidade de um sistema falhar entre “ t ” e “ $t+\Delta t$ ” é dado pela função $u(t)\Delta t$.

O modelo de Power Law pode ser visto como uma extensão da distribuição de *Weibull*, visto que ela governa a primeira falha do sistema e o modelo de Power Law governa cada falha subsequente do sistema (RELIASOFT, 2015).

3.6 SISTEMAS REPARÁVEIS

Existem dois tipos de métodos disponíveis para se analisar os Sistemas Reparáveis (SPANÓ, 2014):

- Pela coleta e análise de dados ao nível dos componentes (*Lowest Replaceable Unit* - LRU);
- Pela coleta e análise dos dados ao nível de sistema.

Considerando as análises ao nível dos componentes temos as seguintes vantagens (SPANÓ, 2014):

- Realizar análises de criticidade e sensibilidade;
- Identificar componentes críticos no sistema;
- Realizar a otimização e alocação da Confiabilidade;
- Obter a disponibilidade, tempo indisponível, o número esperado de falhas, entre outros, ao nível de componentes bem como ao nível de sistema.

No entanto, é válido salientar suas desvantagens, como por exemplo, a necessidade de informações detalhadas sobre a falha e reparo ao nível do componente.

Nas análises ao nível de sistemas por não ser necessário informações detalhadas, a obtenção rápida de resultados é obtida, porém seus resultados são limitados (não é estimada a disponibilidade e não possui resultados de criticidade/sensibilidade).

O modelo de *Power Law* pode ser utilizado para analisar dados no nível de sistemas.

O modelo *Crow Extended* é também largamente aplicado quando temos dados de tempo até a falha e modos de falha associados a cada tempo até a falha. Com isso ele é utilizado para projetar as melhorias de Confiabilidade incorporadas depois de implementadas as correções.

Com isso tem-se algumas respostas que podemos buscar pela aplicação deste método (SPANÓ, 2014):

- Custos para manter a frota de sistemas;
- Manter a missão de confiabilidade pela idade do sistema;
- Determinar o tempo ótimo de reparo e estratégia de revisão para minimizar o custo do ciclo de vida;
- Determinar ações corretivas para o sistema a fim de aumentar a confiabilidade e reduzir custos;
- Determinar o perfil de desgaste para o sistema bem como sua idade.

3.7 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados os conceitos principais do Crescimento da Confiabilidade relacionados aos interesses deste trabalho, citados no Capítulo 1. Uma breve definição sobre os processos estocásticos foi apresentada e, após isso, a teoria envolvida sobre o trabalho foi exposta com maiores detalhes, fundamentada na apresentação do curso de Engenharia de Confiabilidade da UTPFR e referências bibliográficas.

Um ponto observado é que a Engenharia da Confiabilidade é bastante aplicada nas fases de desenvolvimento do produto, com os testes nos protótipos, mas pode ser utilizada na fase de utilização do componente em campo pelo cliente, objetivo deste trabalho.

As falhas ocorridas durante a vida do produto geram estudos e análises visando a ação corretiva. Ela pode ser feita imediatamente ou postergada para um momento mais propício. Isto foi mostrado nos tipos de modos de falha descritos neste capítulo.

No próximo capítulo serão abordados o tratamento dos dados e a aplicação da metodologia exposta, obtendo assim os resultados do trabalho.

4 ANÁLISE FINAL DOS DADOS E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

Este capítulo apresenta um tratamento final dos dados coletados e a sua aplicação no software RGA para se atingir o objetivo de ter um resultado de vida média mais preciso do que os cálculos usuais de MTBF.

4.1 TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados foram coletados seguindo o processo descrito no capítulo 2. As informações de remoção dos componentes foram coletadas, bem como os resultados dos testes desses equipamentos no fornecedor.

Foram coletadas amostras de 66 componentes de um período de 5 anos. A planilha de dados originais traz informações referentes às remoções dos componentes. Nela os componentes estão dispostos na sequência por data de remoção, o que faz com que fiquem misturados. Porém, para uma melhor análise e inserção no software, eles serão reorganizados por número de série do componente. A tabela 4.1 mostra a disposição final dos dados.

Tabela 3.1 – Relação de remoções em campo do compressor

Número de Série Componente	Evento	TTF (horas)	Tipo	Modo	Comentários
3A	S	0			Início
3A	F	776	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
3A	E	776			Fim
8A	S	0			Início
8A	F	537	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
8A	E	537			Fim
11A	S	0			Início
11A	F	223,9	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
11A	E	223,9			Fim
12A	S	0			Início
12A	F	1088	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
12A	E	1088			Fim

Fonte: O autor (2018)

As informações das colunas seguiram o padrão do software. Seguem abaixo suas definições:

- Número de série do componente removido
- Evento – indica se é uma falha
- TTF (horas) – tempo até a falha
- Tipo – classificação do modo da falha
- Modo – um resumo do modo da falha
- Comentários – informações do início/fim do ciclo e detalhes do modo de falha

As informações da planilha já estão no formato correto para a inclusão no software RGA e serão mostradas com mais detalhes no subcapítulo 4.2.

Figura 4.1 – Tela de inserção dados software RGA

	Sistema ID	Evento	Tempo para Evento (h)	Classificação	Modo	Comentários
1	3A	S	0			Início
2	3A	F	776	A	splines	SOR SHAFT SPLINES
3	3A	E	776			Fim
4	8A	S	0			Início
5	8A	F	537	A	splines	SOR SHAFT SPLINES
6	8A	E	537			Fim
7	11A	S	0			Início
8	11A	F	223.9	A	splines	SOR SHAFT SPLINES
9	11A	E	223.9			Fim
10	12A	S	0			Início
11	12A	F	1088	A	leaking	ESSOR SHAFT SEAL L
12	12A	E	1088			Fim

Fonte: Software RGA, 2018

No software a coluna “Sistema ID” corresponde ao número de série do componente, pois estamos tratando cada componente como um sistema. Cada sistema tem o seu histórico em sequência desde início, falha e fim do ciclo.

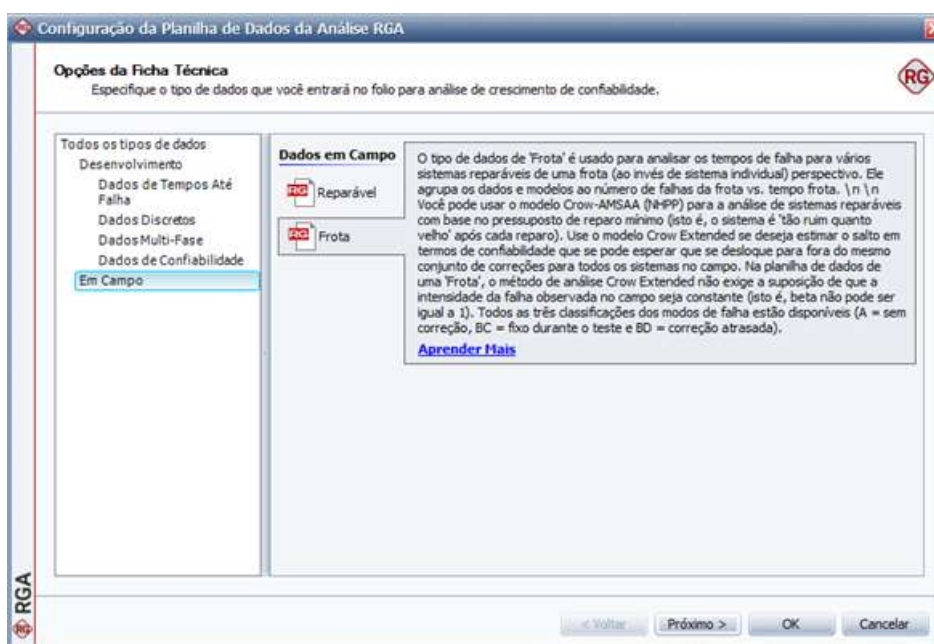
Esse tratamento dos dados possibilitou uma melhor visualização de todas as remoções, causas e modos de falha de cada componente e uma mais fácil inclusão dessas informações no software RGA.

4.2 APLICAÇÃO DO CRESCIMENTO DE CONFIABILIDADE

Os dados tratados mostrados na tabela 4.1 precisam ser inseridos no software RGA. Por ser um dado de campo foi escolhida na tela inicial do software a opção “Em Campo”.

A partir desse ponto, temos duas opções disponíveis: Reparável e Frota, conforme mostrado na figura 4.2.

Figura 4.2 – Tela inicial do software RGA



Fonte: Software RGA, 2018.

A opção “Frota” foi a escolhida para esse estudo porque o objetivo é analisar os tempos de falha para vários sistemas reparáveis de uma frota de aeronaves.

O próximo passo é a configuração da planilha de dados conforme figura 4.3.

Figura 4.3 – Tela de configuração da planilha de dados

Fonte: Software RGA, 2018.

Nela, deve-se inserir a unidade escolhida (horas neste caso), e nas opções adicionais não selecionar a opção de “visão de sistemas avançados” pois os dados da tabela de excel estão dispostos para a “visão normal”, com as colunas correspondentes. O número de sistemas pode se manter como mostrado na figura 4.3 pois os dados estarão sendo inseridos desde a primeira linha e o número de comentários deve-se manter em “1”.

4.2.1 Modelo utilizado

O modelo da análise precisa ser escolhido. Temos as seguintes opções: “CROW-AMSAA (NHPP) e “*Crow Extended*”.

Como descrito no capítulo 3, o modelo “CROW-AMSAA (NHPP) segue o crescimento a partir de um programa testa-corrige-testa, o que não é o caso desse trabalho pois existem modos que foram corrigidos apenas no final do teste.

O *Crow Extended* é um modelo utilizado para analisar melhorias de confiabilidade em componentes já instalados no campo. Isto é caracterizado pelos modos de falha “BD”, que são corrigidos apenas no final do teste. Neste trabalho ainda aparecem os modos “A”, que são aqueles que não são corrigidos.

O modelo *Crow Extended* tem a característica de, para que seja utilizado, o beta dos modos combinados A e BD devem ser iguais a 1. Como a intensidade de falha em um sistema em campo pode estar mudando com o tempo (por exemplo, aumentando a intensidade, o sistema se desgasta), essa suposição pode ser

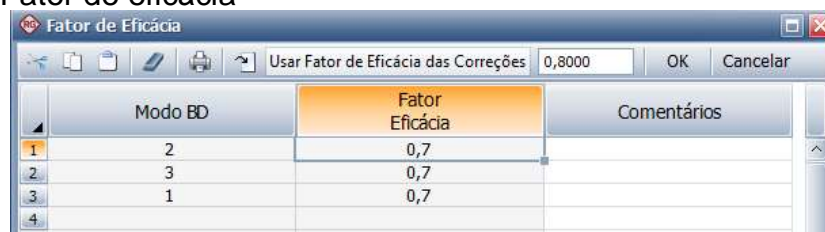
violada. Nesse cenário, o modelo *Crow Extended* não pode ser usado (RELIASOFT, 2015).

Porém, neste trabalho será utilizado o *Crow Extended* pois está sendo utilizado uma frota de sistemas e também está sendo modelado seu número de falhas (frota) versus tempo (frota). Devido a isso, as falhas poderão se tornar aleatórias. Isso ocorre porque há uma mistura de sistemas dentro de uma frota, novos e antigos, e quando as falhas dessa mistura de sistemas são vistas de um ponto de vista cumulativo do tempo da frota, elas podem ser aleatórias. Então o beta deve ser igual a 1.

4.2.2 Fator de eficácia

Outro ponto importante a ser inserido antes de rodar a análise no software, é a informação do fator de eficácia das correções.

Figura 4.4 – Fator de eficácia



	Modo BD	Fator Eficácia	Comentários
1	2	0,7	
2	3	0,7	
3	1	0,7	
4			

Fonte: Software RGA, 2018

Conforme visto na figura 4.4, foram considerados 3 modos BD neste estudo:

- BD 1 – falha no sensor Hall;
- BD 2 – falha no controlador (falha placa circuito interno);
- BD 3 – falha no controlador (transistor queimado).

O fator de eficácia das correções deverá ser feito com base nas ações corretivas propostas e na experiência histórica. Os dados históricos da indústria apontam para um fator de eficácia médio típico de 0,7 (RELIASOFT, 2015), sendo este valor o que foi utilizado neste trabalho, visto que não havia dados disponíveis no momento.

4.2.3 Geração dos resultados

Para a geração da análise no software é necessário, após a inclusão dos dados no formato correto, clicar no botão “Calcular”.

Figura 4.5 – Tela principal do software



Fonte: Software RGA, 2018

A partir desse momento o software analisa os dados e traz os resultados em formato de texto ou gráfico, selecionado pelo botão correspondente.

4.2.4 Relatório de Resultados

A tabela 4.2 mostra o relatório de resultados com as informações principais do usuário, parâmetros e modos de falha.

Tabela 4.2 – Relatórios de Resultados

Relatório de Resultados	
Tipo de Relatório	Resultados
Informações do Usuário	
Nome	Ronaldo Oliveira
Empresa	
Data	14/07/2018
Parâmetros	
Modelo	Crow Extendido
Análises	MLE
Todos os Modos	
Beta (hyp)	1
Beta	0,9389
Lambda (h)	0,003
DMTBF (h)	652,8096
DFI	0,0015
Nível de Significância	0,1
Qui-Quadrado	Passou
CBH	Não disponível
Tempo Final (h)	5,4183E+4

Fonte: Software RGA, 2018

Uma informação importante que é mostrada nessa tabela é o valor demonstrado do MTBF, que é identificado pela sigla DMTBF. Esse valor já nos passa a ideia do MTBF dos sistemas ao final do teste.

Outro ponto importante é a validação do valor de “beta”, onde vimos anteriormente que ele deve assumir o valor de 1. No relatório é mostrado o valor hipotético de 1 e o valor real de 0,9389 para o estudo analisado.

Porém, para que se tenha certeza que essa hipótese não é violada, podemos verificar os limites de confiança do “beta” mostrado. Clicando-se na calculadora obtêm-se esses valores e a verificação é confirmada se um dos limites contem 1, então podemos usar o modelo “*Crow Extended*”.

Tabela 4.3 – Relatório de resultados

Relatório de Resultados			
Tipo de Relatório	Limites dos Parâmetros		
Informações do Usuário			
Nome	Ronaldo Oliveira		
Empresa			
Data	14/07/2018		
Entrada do Usuário			
Limites de Confiança	Bilateral @ 0,9		
Saída RGA			
Limites dos Parâmetros	Inferior	Beta	Superior
	0,7589	0,9389	1,1189

Fonte: Software RGA, 2018

A tabela 4.3 mostra os resultados e vemos que o limite superior de “beta” é 1,1189.

Considerando que não há correções durante o teste, que é o caso deste trabalho, e sendo os componentes corrigidos apenas no final do teste, é entendido que o MTBF do sistema não irá mudar e conseqüentemente sua confiabilidade irá se manter constante.

Os valores do MTBF Demonstrado, Projetado e Crescimento Potencial, bem como seus limites superiores e inferiores são mostrados por meio do botão “calculadora QCP” como mostrado na figura 4.6:

Figura 4.6 – Tela principal do software



Fonte: Software RGA, 2018

Os valores gerados do MTBF Demonstrado, Projetado e Crescimento Potencial, foram:

- MTBF Demonstrado:

Limite Superior (0,95) = 789,7926

MTBF Demonstrado (h) = 652,8096

Limite Inferior (0,05) = 549,9049

- MTBF Projetado:

Limite Superior (0,95) = 1281,1342

MTBF Projetado (h) = 1022,5145

Limite Inferior (0,05) = 816,1017

- Crescimento Potencial MTBF:

Limite Superior (0,95) = 1313,9349

Crescimento Potencial da MTBF (h) = 1046,0077

Limite Inferior (0,05) = 832,7141

Como já explicado no capítulo 3, o valor do MTBF Demonstrado mostra qual foi o MTBF da amostra de dados naquele período.

O valor do MTBF Projetado mostra qual é a projeção do MTBF se os modos de falha BD forem corrigidos. Nesse trabalho temos 3 modos BD.

O valor do MTBF Potencial mostra qual irá ser o MTBF se todos os modos de falha (A e BD) forem corrigidos.

Podemos observar que nesse trabalho a diferença entre o MTBF Projetado e o Crescimento Potencial é baixo, o que mostra que os modos A tem pouca influência na confiabilidade do produto.

4.2.5 Resultados gráficos

Neste trabalho foram gerados dois gráficos para serem mostrados e explicados aqui. O software tem vários outros tipos que podem ser utilizados para outros fins. Ao clicar no botão correspondente o sistema irá gerar os gráficos.

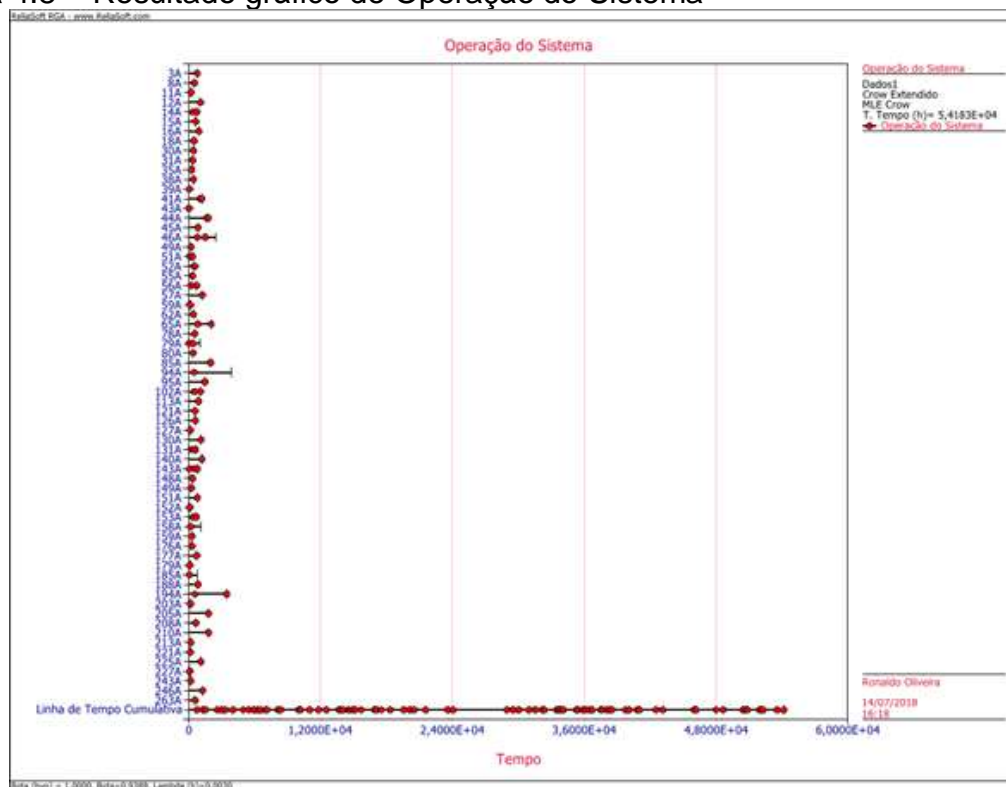
Figura 4.7 – Tela principal do software



Fonte: Software RGA, 2018

O primeiro gráfico gerado foi na figura abaixo. Ele é um gráfico de operação do sistema que coloca todos os componentes e as falhas na linha do tempo e no final mostra todas essas falhas acumuladamente. Nota-se que o sistema como um todo tem um comportamento de falha aleatório, o que nos dá a certeza de ter usado o modelo correto (*Crow Extended*) considerando o beta igual a 1.

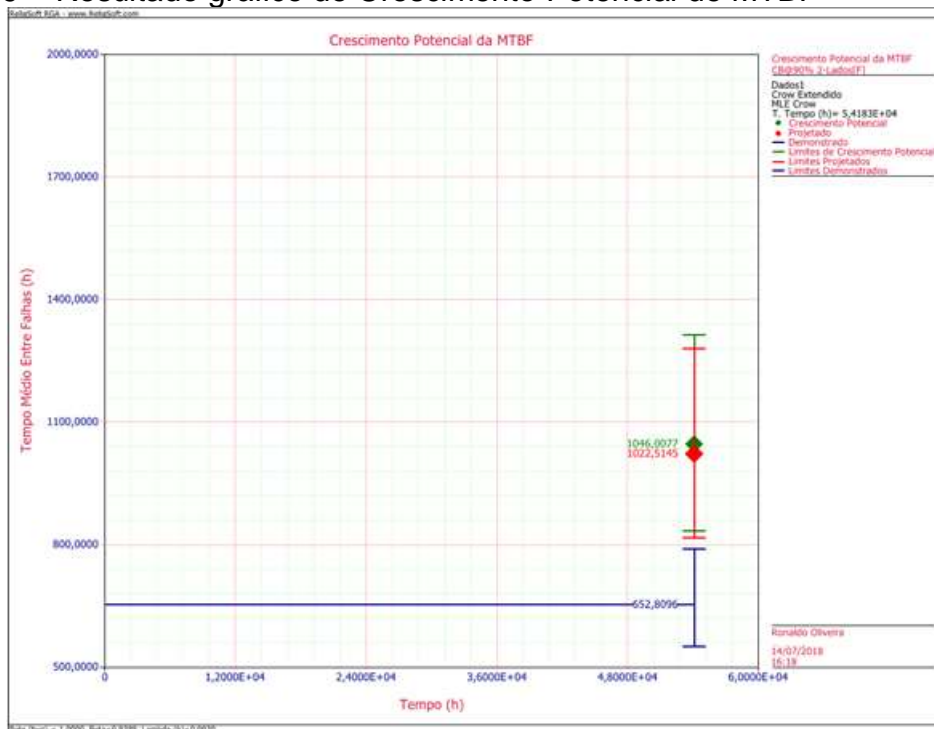
Figura 4.8 – Resultado gráfico de Operação do Sistema



Fonte: Software RGA, 2018

O segundo gráfico mostrado é o do Crescimento Potencial do MTBF. Ele mostra todos os MTBFs: Demonstrado, Projetado e do Crescimento Potencial bem como seus limites de confiança inferiores e superiores.

Figura 4.9 – Resultado gráfico de Crescimento Potencial de MTBF



Fonte: Software RGA, 2018

Observa-se que, conforme já comentado anteriormente, a diferença entre o MTBF Projetado e o Crescimento Potencial é pequeno e os modos de falha A (não corrigidos) não tem importância significativa na confiabilidade.

4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A confiabilidade atual do sistema foi observada com um MTBF demonstrado de 652 horas (limite inferior = 549 h / limite superior = 789 h) e com os modos de falha BD corrigidos é possível atingir um MTBF projetado de 1022 horas (limite inferior = 816 h / limite superior = 1281 h). O limite de confiança utilizado foi de 90%.

Percebe-se que o valor de MTBF quase dobrou apenas com essas correções. Como explicado anteriormente, a eficácia da solução considerada foi de 0,7 para os três modos de falha. Se na prática a solução for melhor, esse número de MTBF pode aumentar.

Os resultados mostram um melhor detalhamento de quais as condições e desempenhos atuais do componente e quais são as projeções para o futuro com as

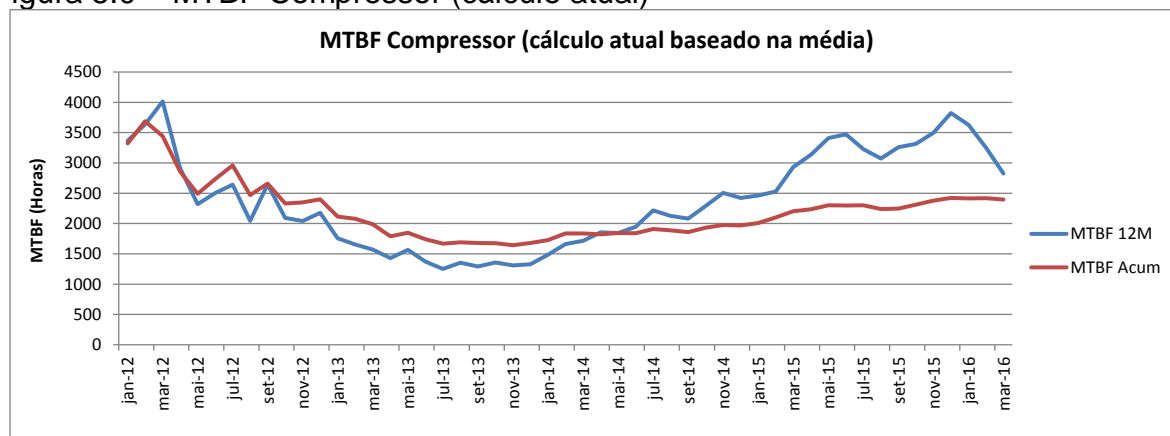
devidas correções, o que permite tirar melhores análises de robustez do produto, se o projeto realmente poderá atender todas as exigências de desempenho. Além disso, o indicador fica mais preciso para prever demandas futuras de estoque.

4.4 COMPARAÇÃO COM MÉTODO ALTERNATIVO

O método atual largamente utilizado para se monitorar a confiabilidade de um componente em campo é o cálculo baseado na média. É um cálculo mais fácil e rápido que pode dar uma ideia do MTBF, mas ela contém várias imprecisões que acarretam uma avaliação imprecisa de desempenho e que pode acarretar um aumento de custos, como por exemplo, uma previsão de estoque errado.

A figura 5.0 mostra um gráfico com os valores de MTBF ao longo do tempo para o compressor, seguindo o cálculo da média, dividindo-se o total de horas da frota pelo número de remoções que tiveram falha confirmada.

Figura 5.0 – MTBF Compressor (cálculo atual)



Fonte: O autor (2018)

O gráfico apresenta dois valores de MTBF: um acumulado de 2.395 horas em março/2016 que é calculado utilizando os dados desde o início de operação; e outro dos últimos 12 meses, correspondendo a 2.826 horas em março/2016.

Observa-se que o valor de MTBF vai aumentando com o tempo, o que mostra que as soluções a medida que foram implementadas já foram sendo mostradas no indicador, porém os valores estão bem mais altos daqueles calculados

pela metodologia do Crescimento da Confiabilidade. Isso acontece porque são utilizadas as horas de toda a frota dividida pelo número total de remoções que tiveram a falha confirmada. Esse valor acarreta números bem maiores, pois os componentes estão misturados e não temos uma noção de como está sendo o desempenho dos componentes modificados. Além disso, não temos medidas de dispersão para avaliarmos a variação dos valores.

O valor calculado pelo Crescimento da Confiabilidade utilizado neste trabalho é mais preciso, porém trabalhoso. Cada componente é analisado e verificado para encontrar qual foi exatamente o tempo que ficou instalado e esse número é utilizado no software. E também foram considerados apenas os componentes que não foram modificados com a última atualização.

Já o que foi mostrado no gráfico da figura 5.0, esses componentes estão misturados e é difícil ter uma precisão e conclusão de qual a influência de cada modo de falha e sua eficácia.

4.5 CONSIDERAÇÕES E SÍNTESE DO CAPÍTULO

Neste capítulo foram abordados a análise final dos dados, sua inclusão no software e os resultados gerados. A coleta dos dados mostrados no capítulo 2 necessita de um tratamento antes de ser inserido para análise no software. Este tratamento foi explicado nesse capítulo.

Além disso, todo o processo de inclusão e escolha de qual tipo de análise para o software foi mostrado, a fim de se obter os resultados esperados.

Os resultados da análise foram mostrados com tabelas e gráficos, a fim de se proporcionar uma visão do comportamento do sistema e previsão para o futuro.

Depois da análise dos resultados, uma comparação com o método alternativo foi mostrado para evidenciar a eficácia da metodologia.

No próximo capítulo, a conclusão será apresentada juntamente com as dificuldades encontradas, soluções e trabalhos futuros.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no capítulo 4 permitem tirar as conclusões necessárias para este trabalho utilizando comparações com o modelo de cálculo atual.

O objetivo proposto foi atingido aplicando-se a metodologia de Crescimento da Confiabilidade, o qual se mostrou um modelo com mais condições de se tomar decisões em relação ao desempenho de um componente reparável em campo.

O valor encontrado no método atual de cálculo se mostra deficiente pois além de ser um cálculo básico de média, apresentou números bem acima do que foi utilizado no cálculo pela metodologia do Crescimento da Confiabilidade. Isso pode acarretar problemas futuros, como por exemplo, verificação ineficiente de uma solução e previsão errada de estoques.

No método proposto por esse trabalho, o objetivo foi alcançado devido a precisão dos valores apresentados, com valores mínimos e máximos baseados em um intervalo de confiança de 90% e números de MTBF separados pelo desempenho atual (MTBF demonstrado) e futuros (MTBF Projetado e Crescimento Potencial) dos modos de falha corrigidos.

O benefício se encontra em um melhor entendimento do produto como um todo, onde pode-se destacar: seu desempenho atual e futuro, as influências dos seus modos de falha, reanálise do projeto quanto ao atendimento de requisitos e por último, uma previsão melhor de estoques.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS E SOLUÇÕES

A análise dos dados tomando-se por base apenas a média, cálculo que é feito atualmente, é mais fácil e rápida como mencionado anteriormente.

Para utilizar os dados para a aplicação da metodologia do Crescimento da Confiabilidade foi necessário um trabalho de investigação, pois as informações geralmente não estavam completas.

As dificuldades encontradas foram:

- Tempo até a falha (horas) – uma informação difícil de ser coletada pois alguns componentes removidos não possuem esse valor. Foi necessário fazer uma investigação das horas acumuladas da aeronave relacionada naquela data de remoção;
- Razão da remoção – geralmente as informações sobre a falha do componente não são devidamente registradas. Foi necessária a obtenção do relatório do fornecedor que faz os testes quando o componente falhado é enviado para reparo;
- Fator de eficácia – O fator de eficácia das correções deveria ser feito com base nas ações corretivas propostas e na experiência histórica, porém devido não haver dados disponíveis no momento, os dados históricos da indústria de 0,7 foram utilizados.

Dados os motivos acima, vários componentes tiveram que ser descartados da análise, pois não estavam com os dados completos. A amostra utilizada teve 66 componentes dos 158 existentes em campo.

Essas foram as maiores dificuldades encontradas durante o trabalho e mostram que os maiores problemas são identificados na coleta e tratamento dos dados. Se essas fases forem bem executadas a conclusão do trabalho será satisfatória.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

Em relação aos trabalhos futuros há vários desafios pela frente.

Destaca-se o aprofundamento do conhecimento das causas de falha de um componente junto ao fornecedor e a busca de informações sobre eficácias de soluções propostas. Verificar quando uma nova solução é disponibilizada, se ela foi realmente testada e se o modo de falha afetado foi corrigido.

Um outro ponto de destaque é o monitoramento em campo do componente com a última versão, verificando se ele está com desempenho satisfatório e sem apresentar modos de falha antigos. O ideal seria separar os indicadores por componente pré e pós-modificação.

Para finalizar, a investigação dos componentes em campo com informações importantes deve ser realizada, porém, como isso é um problema geral da coleta de dados, do correto preenchimento das causas de remoção e horas do componente, se faz necessária uma conscientização de todas as pessoas envolvidas no processo. Só assim é possível utilizar metodologias mais apropriadas e precisas para esse tipo de análise.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Newton C. **Como funcionam os sensores de efeito Hall**. Guarulhos, Brasil, 2009. Disponível em: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6640-como-funcionam-os-sensores-de-efeito-hall-art1050>. Acesso em 15 jan 2018.

CROW, L. H. **Evaluating the reliability of repairable systems**. Publicado em: Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium (p. 275 – 279). 1990.

DOMITROVIĆ, Anita, BAZIJANAC, Ernest, ALIC-KOSTEAIC, Vesna. **Aircraft Reliability Programme**. **Maintworld**, 2012. Disponível em: <https://www.maintworld.com/R-D/Aircraft-Reliability-Programme>. Acesso em 21 mar 2018.

FAA - Federal Aviation Administration. **AC 120-17A - Maintenance Control by Reliability Methods**. Estados Unidos, 1978. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/advisory_circulars/index.cfm/go/document.information/documentID/22744. Acesso em 21 mar 2018.

FAA - Federal Aviation Administration. **Aircraft Operating Costs**. Estados Unidos, 2013. Disponível em: https://www.faa.gov/regulations_policies/policy_guidance/benefit_cost/. Acesso em 21 mar 2018.

FAA - Federal Aviation Administration. **Aviation Maintenance Technician Handbook**. United States Department of Transportation, Vol. 2 (2012 p. 16-45). Estados Unidos, 2012.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: Apostila Universidade Estadual do Ceará, 2002.

FROELICH, Craig A., BELSHE, Theodore L., RIGNEY, Stephen D. **System and method for cooling air conditioning system electronics**. Estados Unidos, 2010. Disponível em: https://www.google.com.br/patents/US20100101242?dq=US20100101242A1-20100429-D00006&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwiry8u_i8nYAhXEIpAKHTStAhMQ6AEIJzAA. Acesso em 21 mar 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

IATA – International Air Transport Association. **Guidance Material & Best Practices for Component Maintenance Cost Management**. Canadá, 2015.

PORTAL ACTION. **Processo Estocástico**. Estatcamp - Consultoria Estatística e Qualidade, Brasil, 2018. Disponível em <http://www.portalaction.com.br/processo-estocastico>. Acesso em 21 mar 2018

RELIASOFT. **Reliability Growth & Repairable System Data Analysis Reference**. Estados Unidos, 2015.

SILVA, Edna Lúcia da, MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

SPANÓ, Claudio. **Apostila de Crescimento da Confiabilidade**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

**APÊNDICE A – TABELAS COM INFORMAÇÕES DE CAMPO DOS
COMPONENTES ESTUDADOS**

Tabela 2.1 - Informação de remoção de todos os componentes (parte 1 de 3)

Número Aeronave	Data da Remoção	Componente	Número de Série	Falha	TTF
118	07/jan/11	Compressor	30A	Eixo do compressor com desgaste	432
127	07/mar/11	Compressor	43A	Sensor "Hall" falhado	44,6
109	07/jun/11	Compressor	11A	Eixo do compressor com desgaste	223,9
106	13/nov/11	Compressor	16A	Eixo do compressor com desgaste	950
122	21/dez/11	Compressor	35A	Falha no controlador	291,1
132	02/fev/12	Compressor	46A	Eixo do compressor com desgaste	791
142	06/mar/12	Compressor	51A	Sensor "Hall" falhado	114,1
131	03/abr/12	Compressor	41A	Rolamento do compressor desgastado	1036,7
122	10/mai/12	Compressor	143A	Falha no controlador	87
136	02/ago/12	Compressor	56A	Eixo do compressor com desgaste	216,3
153	31/ago/12	Compressor	94A	Correia do compressor desgastada	499,2
181	05/out/12	Compressor	131A	Falha no controlador	224,7
107	31/out/12	Compressor	14A	Eixo do compressor com desgaste	383
132	11/jan/13	Compressor	131A	Sensor "Hall" falhado	154,5
212	18/jan/13	Compressor	41A	Falha no controlador	188
124	21/jan/13	Compressor	52A	Falha no controlador	504,7
208	06/fev/13	Compressor	159A	Falha no controlador	305,8
117	27/fev/13	Compressor	18A	Eixo do compressor com desgaste	506
157	02/mar/13	Compressor	39A	Falha no controlador	65
184	05/mar/13	Compressor	143A	Sensor de alta pressão falhado	460
102	09/abr/13	Compressor	8A	Eixo do compressor com desgaste	537
129	30/mai/13	Compressor	44A	Eixo do compressor com desgaste	1645
117	01/jun/13	Compressor	15A	Eixo do compressor com desgaste	219
156	01/jun/13	Compressor	95A	Falha no controlador	1489,1
235	18/jul/13	Compressor	185A	Sensor "Hall" falhado	78
160	23/jul/13	Compressor	102A	Compressor ineficiente	543
154	31/jul/13	Compressor	3A	Eixo do compressor com desgaste	776
147	12/ago/13	Compressor	85A	Eixo do compressor com desgaste	1997,8
204	12/ago/13	Compressor	149A	Sensor "Hall" falhado	256,8
215	11/set/13	Compressor	158A	Sensor "Hall" falhado	180
214	27/set/13	Compressor	153A	Sensor "Hall" falhado	402,3
194	15/out/13	Compressor	140A	Eixo do compressor com desgaste	1207,9
230	18/out/13	Compressor	79A	Vibração do compressor	53
130	29/out/13	Compressor	45A	Eixo do compressor com desgaste	852,3
203	01/nov/13	Compressor	148A	Eixo do compressor com desgaste	351,3
146	13/nov/13	Compressor	78A	Eixo do compressor com desgaste	552,4
183	25/nov/13	Compressor	127A	Sensor "Hall" falhado	173
173	26/nov/13	Compressor	121A	Vibração do compressor	573
139	03/dez/13	Compressor	55A	Eixo do compressor com desgaste	357,9
153	31/dez/13	Compressor	46A	Falha no controlador	717,3

Tabela 2.1 – Informação de remoção de todos os componentes (parte 2 de 3)

Número Aeronave	Data da Remoção	Componente	Número de Série	Falha	TTF
151	02/jan/14	Compressor	131A	Falha no controlador	234,8
254	28/jan/14	Compressor	203A	Vibração do compressor	173
277	04/mar/14	Compressor	221A	Falha no controlador	168,9
222	19/mar/14	Compressor	177A	Falha no controlador	735
184	21/mar/14	Compressor	176A	Correia do compressor desgastada	317
129	23/mar/14	Compressor	65A	Eixo do compressor com desgaste	829,4
240	28/mar/14	Compressor	208A	Sensor "Hall" falhado	665,5
130	01/abr/14	Compressor	44A	Falha no controlador	149
297	21/abr/14	Compressor	102A	Sensor de baixa pressão falhado	44,1
196	24/abr/14	Compressor	152A	Vazamento do selo do eixo do compressor	102
109	06/mai/14	Compressor	38A	Vazamento do selo do eixo do compressor	458,5
254	16/mai/14	Compressor	49A	Eixo do compressor com desgaste	80
196	12/jun/14	Compressor	79A	Vibração do compressor	351
157	17/jun/14	Compressor	51A	Falha no controlador	233,2
236	04/jul/14	Compressor	194A	Eixo do compressor com desgaste	598
137	03/ago/14	Compressor	62A	Falha no controlador	444
281	08/ago/14	Compressor	113A	Compressor ineficiente	909
117	13/ago/14	Compressor	14A	Vazamento do selo do eixo do compressor	367
232	30/ago/14	Compressor	188A	Sensor "Hall" falhado	842,6
215	11/set/14	Compressor	130A	Eixo do compressor com desgaste	585
245	29/set/14	Compressor	210A	Falha no controlador	1811
204	23/out/14	Compressor	56A	Falha no controlador	513,2
194	29/nov/14	Compressor	102A	Sensor "Hall" falhado	499,4
273	02/dez/14	Compressor	243A	Vazamento do selo do eixo do compressor	193,9
306	31/dez/14	Compressor	59A	Falha no controlador	152
134	02/jan/15	Compressor	143A	Falha no controlador	253,1
290	26/jan/15	Compressor	227A	Falha no controlador	114,4
253	09/mar/15	Compressor	225A	Vazamento do selo do eixo do compressor	1119,5
104	30/mar/15	Compressor	12A	Vazamento do selo do eixo do compressor	1088
229	06/abr/15	Compressor	179A	Falha no controlador	104
259	22/abr/15	Compressor	52A	Sensor "Hall" falhado	62,6
300	29/abr/15	Compressor	263A	Sensor "Hall" falhado	593,8
214	18/mai/15	Compressor	80A	Vazamento do selo do eixo do compressor	416,6
306	02/jun/15	Compressor	153A	Sensor "Hall" falhado	302
191	08/jun/15	Compressor	151A	Falha no controlador	800
212	10/jun/15	Compressor	194A	Sensor "Hall" falhado	2862
236	15/jul/15	Compressor	65A	Sensor "Hall" falhado	1223,1
248	25/jul/15	Compressor	213A	Eixo do compressor com desgaste	213
298	01/ago/15	Compressor	246A	Compressor ineficiente	1289,5
255	19/ago/15	Compressor	205A	Compressor ineficiente	1816,1

Tabela 2.1 – Informação de remoção de todos os componentes (parte 3 de 3)

Número Aeronave	Data da Remoção	Componente	Número de Série	Falha	TTF
175	07/dez/15	Compressor	126A	Falha no controlador	640
121	11/fev/16	Compressor	31A	Falha no controlador	381,9
140	08/mar/16	Compressor	57A	Vazamento do selo do eixo do compressor	1245,2

Tabela 4.1 - Informação de remoção dos componentes no formato para o software RGA (parte 1 de 6)

Número de Série	Evento	TTF Horas	Tipo	Modo	Comentários
3A	S	0			Início
3A	F	776	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
3A	E	776			Fim
8A	S	0			Início
8A	F	537	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
8A	E	537			Fim
11A	S	0			Início
11A	F	223,9	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
11A	E	223,9			Fim
12A	S	0			Início
12A	F	1088	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
12A	E	1088			Fim
14A	S	0			Início
14A	F	383	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
14A	F	750	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
14A	E	750			Fim
15A	S	0			Início
15A	F	653	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
15A	E	653			Fim
16A	S	0			Início
16A	F	950	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
16A	E	950			Fim
18A	S	0			Início
18A	F	506	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
18A	E	506			Fim
30A	S	0			Início
30A	F	432	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
30A	E	432			Fim
31A	S	0			Início
31A	F	381,9	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
31A	E	381,9			Fim
35A	S	0			Início
35A	F	291,1	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
35A	E	291,1			Fim
38A	S	0			Início
38A	F	458,5	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
38A	E	458,5			Fim

Tabela 4.1 - Informação de remoção dos componentes no formato para o software RGA (parte 2 de 6)

Número de Série	Evento	TTF Horas	Tipo	Modo	Comentários
39A	S	0			Início
39A	F	65	BD	3	Falha no controlador (transistor queimado)
39A	E	65			Fim
41A	S	0			Início
41A	F	1036,7	A	Bearing	Rolamento do compressor desgastado
41A	F	1224,7	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
41A	E	1224,7			Fim
43A	S	0			Início
43A	F	44,6	BD	1	Sensor "Hall" falhado
43A	E	44,6			Fim
44A	S	0			Início
44A	F	1645	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
44A	F	1794	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
44A	E	1794			Fim
45A	S	0			Início
45A	F	852,3	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
45A	E	852,3			Fim
46A	S	0			Início
46A	F	791	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
46A	F	1508,3	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
46A	E	2439,2			Fim
49A	S	0			Início
49A	F	225,4	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
49A	E	225,4			Fim
51A	S	0			Início
51A	F	114,1	BD	1	Sensor "Hall" falhado
51A	F	347,3	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
51A	E	347,3			Fim
52A	S	0			Início
52A	F	504,7	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
52A	F	567,3	BD	1	Sensor "Hall" falhado
52A	E	567,3			Fim
55A	S	0			Início
55A	F	357,9	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
55A	E	357,9			Fim

Tabela 4.1 - Informação de remoção dos componentes no formato para o software RGA (parte 3 de 6)

Número de Série	Evento	TTF Horas	Tipo	Modo	Comentários
56A	S	0			Início
56A	F	216,3	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
56A	F	729,5	BD	3	Falha no controlador (transistor queimado)
56A	E	729,5			Fim
57A	S	0			Início
57A	F	1245,2	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
57A	E	1245,2			Fim
59A	S	0			Início
59A	F	152	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
59A	E	152			Fim
62A	S	0			Início
62A	F	444	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
62A	E	444			Fim
65A	S	0			Início
65A	F	829,4	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
65A	F	2052,5	BD	1	Sensor "Hall" falhado
65A	E	2052,5			Fim
78A	S	0			Início
78A	F	552,4	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
78A	E	552,4			Fim
79A	S	0			Início
79A	F	53	A	Vibração	Vibração do compressor
79A	F	404	A	Vibração	Vibração do compressor
79A	E	1029,8			Fim
80A	S	0			Início
80A	F	416,6	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
80A	E	416,6			Fim
85A	S	0			Início
85A	F	1997,8	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
85A	E	1997,8			Fim
94A	S	0			Início
94A	F	499,2	A	Correia desgaste	Correia do compressor desgastada
94A	E	3916,6			Fim
95A	S	0			Início
95A	F	1489,1	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
95A	E	1489,1			Fim

Tabela 4.1 - Informação de remoção dos componentes no formato para o software RGA (parte 4 de 6)

Número de Série	Evento	TTF Horas	Tipo	Modo	Comentários
102A	S	0			Início
102A	F	543	A	Baixa compressão	Compressor ineficiente
102A	F	587,1	A	Switch baixa	Switch de baixa pressão falhado
102A	F	1086,5	BD	1	Sensor "Hall" falhado
102A	E	1086,5			Fim
113A	S	0			Início
113A	F	909	A	Baixa compressão	Compressor ineficiente
113A	E	909			Fim
121A	S	0			Início
121A	F	573	A	Vibração	Vibração do compressor
121A	E	573			Fim
126A	S	0			Início
126A	F	640	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
126A	E	640			Fim
127A	S	0			Início
127A	F	173	BD	1	Sensor "Hall" falhado
127A	E	173			Fim
130A	S	0			Início
130A	F	1139	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
130A	E	1139			Fim
131A	S	0			Início
131A	F	224,7	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
131A	F	379,2	BD	1	Sensor "Hall" falhado
131A	F	614	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
131A	E	614			Fim
140A	S	0			Início
140A	F	1207,9	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
140A	E	1207,9			Fim
143A	S	0			Início
143A	F	87	BD	3	Falha no controlador (transistor queimado)
143A	F	547	A	Sensor de Alta	Sensor de alta pressão falhado
143A	F	800,1	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
143A	E	800,1			Fim
148A	S	0			Início
148A	F	351,3	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
148A	E	351,3			Fim

Tabela 4.1 - Informação de remoção dos componentes no formato para o software RGA (parte 5 de 6)

Número de Série	Evento	TTF Horas	Tipo	Modo	Comentários
149A	S	0			Início
149A	F	256,8	BD	1	Sensor "Hall" falhado
149A	E	256,8			Fim
151A	S	0			Início
151A	F	800	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
151A	E	800			Fim
152A	S	0			Início
152A	F	102	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
152A	E	102			Fim
153A	S	0			Início
153A	F	402,3	BD	1	Sensor "Hall" falhado
153A	F	704,3	BD	1	Sensor "Hall" falhado
153A	E	704,3			Fim
158A	S	0			Início
158A	F	180	BD	1	Sensor "Hall" falhado
158A	E	1138,3			Fim
159A	S	0			Início
159A	F	305,8	BD	3	Falha no controlador (transistor queimado)
159A	E	305,8			Fim
176A	S	0			Início
176A	F	317	A	Correia dano	Correia do compressor danificada
176A	E	317			Fim
177A	S	0			Início
177A	F	735	BD	3	Falha no controlador (transistor queimado)
177A	E	735			Fim
179A	S	0			Início
179A	F	104	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
179A	E	104			Fim
185A	S	0			Início
185A	F	78	BD	1	Sensor "Hall" falhado
185A	E	774,4			Fim
188A	S	0			Início
188A	F	842,6	BD	1	Sensor "Hall" falhado
188A	E	842,6			Fim

Tabela 4.1 - Informação de remoção dos componentes no formato para o software RGA (parte 6 de 6)

Número de Série	Evento	TTF Horas	Tipo	Modo	Comentários
194A	S	0			Início
194A	F	598	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
194A	F	3460	BD	1	Sensor "Hall" falhado
194A	E	3460			Fim
203A	S	0			Início
203A	F	173	A	Vibração	Vibração do compressor
203A	E	173			Fim
205A	S	0			Início
205A	F	1816,1	A	Baixa compressão	Compressor ineficiente
205A	E	1816,1			Fim
208A	S	0			Início
208A	F	665,5	BD	1	Sensor "Hall" falhado
208A	E	665,5			Fim
210A	S	0			Início
210A	F	1811	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
210A	E	1811			Fim
213A	S	0			Início
213A	F	213	A	Eixo Desgaste	Eixo do compressor com desgaste
213A	E	213			Fim
221A	S	0			Início
221A	F	168,9	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
221A	E	168,9			Fim
225A	S	0			Início
225A	F	1119,5	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
225A	E	1119,5			Fim
227A	S	0			Início
227A	F	114,4	BD	2	Falha no controlador (placa circuito interno falhado)
227A	E	114,4			Fim
243A	S	0			Início
243A	F	193,9	A	Leaking	Vazamento do selo do eixo do compressor
243A	E	193,9			Fim
246A	S	0			Início
246A	F	1289,5	A	Baixa compressão	Compressor ineficiente
246A	E	1289,5			Fim
263A	S	0			Início
263A	F	593,8	BD	1	Sensor "Hall" falhado
263A	E	593,8			Fim