

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MASTERING DISSERTATION

AVALIAÇÃO DA CONDIÇÃO DE  
"TÃO BOM QUANTO NOVO"

UMA APLICAÇÃO ENVOLVENDO A MANUTENÇÃO DE MOTORES  
CONVENCIONAIS DAS AERONAVES UNIVERSAL T-25

EVALUATION OF THE CONDITION OF  
"AS GOOD AS NEW"

ONE APPLICATION ABOUT THE CONVENTIONAL ENGINES  
MAINTENANCE OF UNIVERSAL AIRCRAFT T-25

DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA . STATISTIC DEPARTMENT  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS FEDERAL UNIVERSITY OF MINAS GERAIS

ALEXANDRE OLYMPIO DOWER POLEZZI

ORIENTADOR

LEADER

ENRICO ANTÔNIO COLOSIMO

## **P R E F Á C I O**

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo a aplicação de conhecimentos teóricos e práticos de estatística e de engenharia visando à resolução de um problema real da Força Aérea Brasileira. Mais do que a resolução do problema o trabalho, cria uma metodologia, com seqüência de passos a serem executados, para quando se deseja avaliar se um sistema, após sofrer uma manutenção, retorna à Condição de Tão Bom Quanto Novo.

Com o propósito de tornar a informação acessível ao maior número de pessoas possível, tendo em vista os recursos que Internet nos oferece, decidiu-se redigir o texto no idioma inglês. Também, devido ao assunto ser interessante, o fato de se ter redigido em inglês favorece a confecção de um artigo, baseado nesta dissertação, para uma futura submissão do conteúdo a uma revista especializada na área.

A atividade aérea tem muitas vezes definido o Estado da Arte na área de manutenção, visto que o maior bem a ser preservado é a Segurança de Vôo, mas sempre levando em consideração a questão financeira. O conteúdo deste trabalho, apesar de ter sido voltado para um problema de motor de aeronaves, pode ser utilizado para muitas outras áreas, como manutenção de sistema de geração de energia, sistemas ferroviários,

## RESUMO

Após uma rotina de manutenção preventiva costuma-se assumir que determinado sistema volta à condição de "Tão Bom Quanto Novo"(AGAN). Este trabalho utiliza algumas ferramentas estatísticas para propor uma metodologia capaz de testar se um sistema volta à Condição de AGAN e, nos casos em que a suposição de retorno não puder ser feita, determinar um coeficiente capaz de medir a degradação do sistema. Um exemplo real, relacionado à aeronave Universal da Força Aérea Brasileira, é analisado neste trabalho. O conjunto de dados envolve informações de 43 aeronaves. A partir dos dados e da determinação do coeficiente de degradação é possível definir Intervalos entre Manutenções (TBO's) variáveis de acordo com número de manutenções que o sistema já sofreu, assim como tirar uma série de conclusões práticas para otimização das rotinas de manutenção.

**Palavras chaves: Bootstrap, Manutenção, Tempo Entre Manutenção, Estimador de Máxima Verossimilhança.**

## ABSTRACT

After a usual preventive maintenance routine it is usually assumed that a system returns to the condition of "As Good As New" (AGAN). This work uses some statistical tools to propose a methodology able to test if a system returns to the Condition of AGAN and, in the cases in which the supposition cannot be validated, to determine a coefficient reliable to measure the system degradation. A real example related to the Universal aircraft of the Brazilian Air Force illustrates the proposed methodology. The data set considers information from 43 aircrafts. From the data set and the determination of the degradation coefficient it is possible to define Intervals Between Maintenances (TBO's) variables with the number of maintenances that the system has been submitted to, as well as, taking a series of practical conclusions for optimization of the maintenance routines.

**Key words: Bootstrap, Maintenance, Time Between Overhaul (TBO), Maximum Likelihood Estimator.**

etc.

|   |    |
|---|----|
| <b>1</b> – Introduction . . . . .   | 05 |
| <b>2</b> – Problem Definition . . . . .   | 07 |
| <b>3</b> – Poisson Process . . . . .  | 10 |
| <b>3.1</b> – Homogeneous Poisson Process (HPP) . . . . .                        | 10 |
| <b>3.2</b> – Nonhomogeneous Poisson Process (NHPP) . . . . .                    | 11 |
| <b>4</b> – Statistical Inference . . . . .                                      | 12 |
| <b>4.1</b> – Likelihood Function and Parameters . . . . .                       | 12 |
| <b>4.2</b> – Testing the equality of $\beta$ 's for multiples systems . . . . . | 14 |
| <b>4.3</b> – Testing equality of $\lambda$ 's for multiples systems . . . . .   | 15 |
| <b>4.4</b> – Maintenance effectiveness parameter . . . . .                      | 17 |
| <b>4.5</b> – Generalized Renewal Process (GRP) . . . . .                        | 17 |
| <b>4.6</b> – Maximum likelihood estimation of GRP parameters . . . . .          | 18 |
| <b>4.7</b> – Equations for multiple systems . . . . .                           | 19 |
| <b>4.8</b> - Monte Carlo simulation for NPP . . . . .                           | 21 |
| <b>4.9</b> – Bootstrap Methodology . . . . .                                    | 21 |
| <b>5</b> – Real Data Results . . . . .  | 23 |
| <b>5.1</b> – Point Estimation for the Power Law Model . . . . .                 | 23 |
| <b>5.1.1</b> - Considering Revision as a Minimum Repair . . . . .               | 24 |
| <b>5.1.2</b> - Considering Revision as a Perfect Maintenance . . . . .          | 25 |
| <b>5.1.3</b> - Considering Each Cycle Separately . . . . .                      | 25 |
| <b>5.2</b> – Point Estimates . . . . .  | 27 |
| <b>5.2.1</b> - Considering Revision as a Minimum Repair. . . . .                | 27 |
| <b>5.2.2</b> - Considering Revision as a Perfect Maintenance. . . . .           | 28 |
| <b>5.2.3</b> - Considering Each Cycle Separately . . . . .                      | 29 |
| <b>5.3</b> – Tests of Hypothesis . . . . .                                      | 31 |
| <b>5.3.1</b> - Comparing $\beta$ 's . . . . .                                   | 31 |
| <b>5.3.2</b> – Comparing $\lambda$ 's . . . . .                                 | 32 |

|  |    |
|--|----|
| 5.4 – Maintenance effectiveness . . . . .                        | 33 |
| 5.5 – Confidence Interval . . . . .                              | 34 |
| 5.6 – Intensity Function Considering the $q$ Parameter . . . . . | 35 |
| 6 – TBO's Redefinition . . . . .                                 | 36 |
| 7 – Conclusions . . . . .  | 39 |
| 8 – Bibliographical References . . . . .                         | 41 |
| Appendix 1 . . . . .   | 43 |
| Appendix 2 . . . . .   | 46 |
| Appendix 3 . . . . .   | 53 |

For many systems, it is assumed that after a revision the system returns to the condition of "As Good As New" (AGAN). However, some engineers believe that this is not always true. If this is not true, it would be reasonable to assume that the time until the next revision, Time Between Overhaul (TBO), be variable depending on the cycle.

This work uses some statistical tools in order to propose a methodology able to verify in what cases it can be assumed. Moreover, in the case we cannot make such assumption, develop a method to make possible say how much the system gets better or gets worse. From the results, and based on engineering knowledge, it can be defined variable maintenance intervals dependable upon the cycle.

The MSG3 (Maintenance Steering Group, version 3), from it was originated the Reliability Centered Maintenance Program, is the most modern and accepted maintenance methodology in the aircraft area. It uses statistical tools of reliability for the determination of the best maintenance intervals. The content of this study complements MSG3 supplying a methodology to help in the determination of a system condition after a maintenance.

In this work, it is used the data of 43 Universal, known as T-25 in the Brazilian Air Force, aircraft engines of the Brazilian Air Force (BAF), to verify if is it reasonable to assume the condition of AGAN, after a general revision. The quantitative methodology developed by Yanez, Joglar and Modarres [7] is used to determine the reduction or the increment value in the failure probability after each revision. From such value, considering the more extreme interval, it can be defined time variable intervals for TBO's, in function of the cycle, what corroborates with the vision of Brazilian Air Force Engineers that believes there might be an aging of a system after a maintenance routine.

The application of such methodology allows, also, the creation of a method able to estimate prices of used items, or item that has been passed for a rebuilt. For example, the price of an engine that has been passed through the third overhaul should be 70% of a new one? Besides of it, this method is a tool that can provide information for the insurance companies