



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

**DANIEL DE OLIVEIRA MONTENEGRO**, Cap Eng MEC

**MANUTENÇÃO**: RELAÇÃO ENTRE CONFIABILIDADE E TEMPO LIMITE DE VIDA  
(TLV) DOS TRENS DE POUSO DAS AERONAVES T-27.

Rio de Janeiro

2021

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

**DANIEL DE OLIVEIRA MONTENEGRO**, Cap Eng MEC

**MANUTENÇÃO: RELAÇÃO ENTRE CONFIABILIDADE E TEMPO LIMITE DE VIDA (TLV) DOS TRENS DE POUSO DAS AERONAVES T-27.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação em Gestão Pública com ênfase em Projetos e Processos.

Linha de Pesquisa: Logística e Mobilização Aeroespaciais.

Orientador: **Jaqueline** de Azevedo Bruno, Maj Int

Rio de Janeiro

2021

**DANIEL DE OLIVEIRA MONTENEGRO, Cap Eng MEC**

**MANUTENÇÃO: RELAÇÃO ENTRE CONFIABILIDADE E TEMPO LIMITE DE VIDA  
(TLV) DOS TRENS DE POUSO DAS AERONAVES T-27**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no Curso de Aperfeiçoamento  
de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

---

**Jaqueline** de Azevedo Bruno, Maj Int  
EAOAR

---

Marcos Zeitone **Koialainski** Junior, Cap Av  
EAOAR

Rio de Janeiro  
2021

## RESUMO

A evolução dos programas de manutenção das aeronaves e seus componentes tem por objetivo a redução de custos, aumento da disponibilidade, confiabilidade e garantia da segurança de voo. A Filosofia Tradicional dos programas de manutenção acreditava que todos os componentes estruturais e reparáveis deveriam sofrer revisão geral para assegurar a confiabilidade e a aeronavegabilidade do item. Porém, a visão atual, com enfoque na Manutenção Centrada na Confiabilidade, vem demonstrando que não existe uma relação entre confiabilidade e tempo de revisão geral, a parada do item para manutenção deve ser realizada somente quando realmente for necessário ou quando os benefícios superarem os custos e riscos. Desse modo, considerando a idade avançada da frota de aeronaves EMB-312 T-27 TUCANO da Força Aérea Brasileira, o presente ensaio defende que é necessário reavaliar o tempo limite de vida útil dos trens de pouso com base em sua confiabilidade, histórico de manutenção e taxa de falhas. Primeiramente, argumenta-se que com base em manutenções apropriadas e adequado monitoramento, um item aeronáutico possui limite de vida ilimitado. Em segundo lugar, ressalta-se que não existe a necessidade em se limitar o tempo de utilização dos trens de pouso ao seu Tempo Limite de Vida (TLV), uma vez que eles já possuem uma confiabilidade elevada. Por fim, por meio da análise da confiabilidade e da vida útil dos trens de pouso será possível propor uma prorrogação do seu TLV e, conseqüentemente, trazer benefícios em termos de economia e disponibilidade.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. Manutenção. Logística. Taxa de Falhas. Trem de pouso.

## 1 INTRODUÇÃO

As aeronaves EMB-312 T-27 TUCANO da Força Aérea Brasileira foram fabricadas na década de 80, pela Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER). Após 37 anos de serviços prestados à FAB, as aeronaves estão atualmente passando pelo processo de modernização de todo seu sistema aviônico de navegação e instrumentos de motor, com o objetivo de garantir a sua operacionalidade até o ano de 2030, com uma aparelhagem moderna, segura e tecnológica.

Nesse contexto, o Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa, Organização Militar responsável pelo suporte logístico da frota de T-27, deverá garantir a disponibilidade operacional das aeronaves e de seus componentes pelos próximos 10 anos de sua vida útil. Dentre os componentes controlados, motor, hélice, roda, cubo de roda, FCU, etc., destaco os trens de pouso, peça fundamental e imprescindível da aeronave.

As aeronaves T-27 possuem trens de pouso tipo triciclo, composto de um trem de pouso esquerdo, um direito e um auxiliar, e são do tipo escamoteável, ou seja, a sua retração é total para o interior da aeronave.

A manutenção dos trens de pouso é realizada pela oficina de hidráulica do Parque de Material Aeronáutico de São Paulo, onde são realizadas as revisões tipo Overhaul, cujo tempo entre revisão geral (TBO) é de 3.000 pousos, e possuem um Tempo Limite de Vida (TLV) de 10.000 pousos. Tal limite foi estabelecido pelo fabricante considerando o envelhecimento ou degradação do item, o qual, segundo Kardec e Nascif (2007, p.100), "há um aumento na taxa de falhas decorrente do desgaste natural, que será tanto maior quanto mais passar o tempo.". Porém, ressalto que estudos relacionados à Manutenção Centrada na Confiabilidade mostram que o envelhecimento de um componente aeronáutico não tem relação com a queda da sua confiabilidade ou aumento das falhas (MOUBRAY, 2000).

Considerando a idade avançada da frota do T-27, é necessário reavaliar o tempo limite de vida útil dos trens de pouso com base em sua confiabilidade, histórico de manutenção e taxa de falhas, porque com manutenções apropriadas e adequado monitoramento, muitos itens aeronáuticos são considerados *On Condition* (OC) e porque não existe a necessidade em limitar o tempo de utilização dos trens de pouso ao seu TLV, já que eles têm uma confiabilidade elevada. Segundo o

Manual do Comando da Aeronáutica (MCA) nº 66-7 (Brasil, 2017), um item aeronáutico *On Condition* é aquele no qual a sua manutenção é determinada periodicamente por inspeção visual, medida, teste, sem que seja necessário desmontá-lo ou revisá-lo.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Segundo Kardec e Nascif (2007, p.96), “Confiabilidade é a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso.”.

A confiabilidade depende do histórico de falhas e do tempo de operação dos equipamentos, podendo ser recalculada com base no histórico de utilização de um determinado componente.

Os trens de pouso das aeronaves T-27 possuem altos níveis de confiabilidade, desde que operando com manutenções confiáveis e adequado monitoramento dos seus modos de falhas e suas causas.

Considerando o envelhecimento da frota e que os trens de pouso possuem limite de tempo de operação, faz-se necessário uma análise da sua confiabilidade, por meio de softwares específicos, como o WEIBULL++11, a fim de avaliar uma possível extensão do seu TLV. Ou seja, aumentar a sua disponibilidade física, a qual, segundo Viana (2009, p.143), “é a capacidade de um item de estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.”. Dessa forma, será possível garantir a operação dos trens de pouso por mais tempo e, conseqüentemente, garantir a disponibilidade das aeronaves.

Nesse contexto, a disponibilidade, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p.7), “é definida como a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função requerida em um determinado instante do tempo ou em um período de tempo predeterminado.”.

Utilizando-se da Teoria das Restrições, de Goldratt e Cox (2014), onde a meta seria um percentual de disponibilidade e a restrição como sendo o TLV dos trens de pouso, por meio da análise da relação entre o envelhecimento dos trens de pouso e o seu TLV, será possível propor soluções para o fator restritivo a fim de

obter ganhos de produtividade, ou seja, aumento da disponibilidade. Segundo Abadie (2014, p.6), "A TOC de Goldratt visa sempre maximizar os desempenhos com base no gerenciamento dos recursos existentes."

## **2.1 Análise de vida dos trens de pouso**

A Curva da Banheira é um gráfico da função taxa de falhas ao longo do tempo. Segundo o modelo da Curva da Banheira, a vida operacional de um equipamento divide-se em três fases: mortalidade infantil, vida útil e envelhecimento (KARDEC, NASCIF, 2007).

A primeira fase, Mortalidade Infantil, é o período imediato após a fabricação e é caracterizado por altas taxas de falhas devido a problemas de projeto ou defeitos de fabricação.

A segunda fase, Vida Útil, percebe-se uma estabilização das falhas e a taxa de falhas é constante ao longo do tempo, pois todo o processo de melhoria e soluções das partes já foram adotadas.

Na última fase, Envelhecimento, os índices de falhas voltam a aumentar devido ao tempo de uso do equipamento. Nessa etapa, percebe-se um aumento significativo de custos com manutenção, aumento das falhas e paradas repentinas.

As falhas relacionadas à idade do equipamento frequentemente estão associadas à fadiga, corrosão e abrasão. Porém, em estudos realizados em aeronaves comerciais, nada menos que 82% dos componentes se comportam com taxa de falhas constante ao longo da sua vida em operação, sem um aumento significativo na taxa de falhas decorrente do tempo de utilização na aeronave. Portanto, por meio de um programa de manutenção adequado e bem definido, muitos componentes aeronáuticos nunca chegam a entrar na fase de envelhecimento (MOUBRAY, 2000).

Tal descobrimento provocou uma quebra de paradigma no setor aeronáutico, pois contradiz a crença de que sempre há uma conexão entre o aumento da taxa de falhas e a idade operacional do reparável. Ou seja, à medida que o item envelhece, não significa que haverá um aumento do seu desgaste e, conseqüentemente, a parada de operação do item.

Além disso, o aumento da frequência de manutenções nos equipamentos não significa uma melhora no seu desempenho, pelo contrário, estudos mostram que o

excesso de manutenção induz a ocorrência de falhas, designada pela sigla em inglês de MIF (*Maintenance Induced Failure*). Tais fatos foram observados nos estudos de Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM), desenvolvidos pelo Grupo de Direcionamento da Manutenção, chamado de MSG-3 (*Maintenance Steering Group*), onde foram desenvolvidos métodos para desenvolver os programas de manutenção com foco na confiabilidade e segurança do equipamento (MOUBRAY, 2000).

## **2.2 Análise da confiabilidade**

O estudo da confiabilidade visa minimizar a frequência com que as falhas ocorrem em um equipamento ou sistema (BIROLINI, 2014). As falhas, segundo a norma MIL-STD-882E (EUA, 2012), podem ser classificadas segundo o seu grau de severidade, podendo ser catastrófica, crítica, marginal ou negligenciável.

As falhas Catastróficas resultam em morte ou perda do componente, a Crítica resulta em ferimentos graves ou danos severos ao sistema, a Marginal resulta em danos menores e a Negligenciável resulta em danos desprezíveis.

A falha é uma perda de capacidade de performance de um equipamento e não é bom que um produto falhe em poucos minutos ou não desempenhe a função ao qual foi projetado (BIROLINI, 2014). Logo, a engenharia da confiabilidade fornece as ferramentas teóricas e práticas para analisar as falhas de um item e, dessa forma, estabelecer intervenções de manutenção a fim de garantir uma melhora na performance do equipamento ou aumento da vida útil de um projeto.

A implantação do estudo da confiabilidade nas empresas resultou em redução de custos e aumento do tempo entre revisões das máquinas e componentes aeronáuticos. Destaco o estudo realizado no item DC-8 HYDRAULIC PUMP que, quando inicialmente introduzido nas aeronaves Douglas DC-8, tinham uma periodicidade de controle do TBO de 1.200 horas. Porém, com o apropriado monitoramento das falhas e identificação dos modos de falhas, foi possível realizar um estudo de confiabilidade do item e implantar mudanças no projeto de forma a aumentar o TBO do item para até 5.800 horas (KECECIOGLU, 1995).

Nesse contexto, a análise da confiabilidade de um item serve para evitar falhas catastróficas e, ainda, é uma excelente ferramenta utilizada para estabelecer

o programa de manutenção e inspeções preventivas de um reparável de forma mais eficiente e eficaz.

A principal função do programa de manutenção é garantir a disponibilidade de um equipamento e identificar a periodicidade ótima de realização de manutenções preventivas, trocas e inspeções (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Portanto, a análise da confiabilidade dos trens de pouso das aeronaves T-27 é extremamente importante a fim de reavaliar o seu tempo limite de vida e, ainda, a sua periodicidade de inspeções.

Logo, por meio do levantamento dos dados históricos de manutenção registrados no Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços - SILOMS, foi possível observar os seguintes tipos de falhas dos trens de pouso das aeronaves T-27: Vazamento de óleo, tesoura avariada, rolamento danificado, retentor avariado, corrosão, insert danificado e deformação do eixo da roda.

Os dados coletados foram considerados incompletos, ou seja, não sendo possível registrar o momento exato de ocorrência da falha no componente, mas somente um intervalo de tempo que contém esse momento. Nesse caso, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009, p.52) “Um conjunto de dados incompletos de tempos até falha é dito censurado ou truncado.”.

Devido à complexidade dos cálculos de confiabilidade, foi utilizado um programa específico e amplamente reconhecido por sua precisão e qualidade, o software WEIBULL ++11. Os dados de falhas foram inseridos no programa, o qual enquadrou a distribuição das falhas na curva LOG-NORMAL, obtendo como resultado uma confiabilidade dos trens de pouso acima de 97% e taxa de falhas de 0,000079/ciclo.

Foi possível observar, ainda, do histórico do SILOMS, que apenas duas falhas foram consideradas determinantes para a interrupção da vida útil do componente e, conseqüentemente, ocasionando o seu descarte. Ou seja, praticamente todos os trens de pouso operaram até atingir o seu tempo limite de vida sem o registro de falhas potenciais ou catastróficas. Todas as falhas registradas foram passíveis de uma revisão ou reparo, a qual restaurou o componente às suas condições normais de operação. Além disso, as falhas registradas no SILOMS são aleatórias, não havendo uma relação com o envelhecimento do item.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os valores de confiabilidade e de taxa de falhas obtidos do software Weibull++11, pode-se deduzir que os trens de pouso, mesmo atingindo o seu limite de vida, ainda não entraram na fase de envelhecimento da Curva da Banheira. Ou seja, não existe uma relação do envelhecimento dos trens de pouso com a queda de sua confiabilidade ou com o aumento da taxa de falhas.

Além disso, estudos relacionados à Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) demonstram que um plano de manutenção eficiente, com foco na confiabilidade e segurança, possibilita a extensão da vida útil de um componente aeronáutico. Ou seja, por meio da análise aprofundada da utilização de cada componente, pode-se alterar o seu programa de manutenção de forma a prorrogar a sua vida útil. Dessa forma, faz-se necessário uma análise mais aprofundada da possibilidade em prorrogar o TLV dos trens de pouso.

Desse modo, a extensão do TLV dos trens de pouso irá proporcionar diversos benefícios à FAB, como economia na aquisição de material de giro, otimização da manutenção e maior disponibilidade das aeronaves. Além disso, o presente ensaio não se limita apenas à análise da extensão da vida dos trens de pouso da aeronave T-27, mas podendo se estender a todos os componentes aeronáuticos dos projetos em operação na FAB.

Por fim, diante dos novos desafios, como a modernização da aeronave T-27, torna-se imprescindível estudos de confiabilidade e análise dos dados históricos dos equipamentos com o objetivo de tornar os planos de manutenção mais eficientes. Assim, será possível a otimização do uso dos meios materiais, financeiros e de mão de obra no suporte logístico das aeronaves da FAB.

## REFERÊNCIAS

ABADIE, Flávio Cardoso. **Análise da contabilidade de horas do motor da aeronave C130H do 1º/1º GT.** Artigo Científico – Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica, Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2014.

BIROLINI, Alessandro. **Reliability Engineering.** 7. ed. Tuscany: Springer, 2014.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. **Manual de Manutenção (MCA 66-7),** Rio de Janeiro, 2017.

DEPARTMENT OF DEFENSE, USA. **Standard Practice System Safety - MIL-STD-882-E.** 2012.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luís Duarte. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GOLDRATT, Eliyahu Moshe; COX, Jeff. **A meta: um processo de melhoria contínua.** 3. ed. São Paulo: Nobel, 2014.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica.** 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007

KECECIOGLU, Dimitri. **Reliability Engineering Handbook.** Lancaster: DEStech Publications, 1995.

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada em Confiabilidade.** Edição Brasileira. Grã-Bretanha: Biddles, Guilford and King's Lynn, 2000.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Planejamento e controle da manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.