



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
COORDENADORIA ACADÊMICA
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

EDUARDO DE JESUS **PRISTO**, Ten Cel Av

**O impacto da adoção de sistemas *glass cockpit* na prontidão das aeronaves Cessna
Caravan da Força Aérea Brasileira**

Rio de Janeiro

2022

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

EDUARDO DE JESUS **PRISTO**, Ten Cel Av

**O impacto da adoção de sistemas *glass cockpit* na prontidão das aeronaves Cessna
Caravan da Força Aérea Brasileira**

Trabalho de conclusão de curso apresentado, como requisito parcial para aprovação, no Curso Avançado de Comando e Estado-Maior.
Linha de Pesquisa: Operações Militares.
Orientador: Cristiano Link

Rio de Janeiro

2022

FICHA CATALOGRÁFICA

RESUMO

Com a atualização tecnológica dos sistemas das aeronaves, ganhos em termos de confiabilidade têm sido implementados em várias frotas. Para identificar benefícios dessa natureza na frota de C-98 da Força Aérea Brasileira (FAB), esse trabalho teve como objetivo analisar em que medida o uso de sistemas de indicação eletrônicos do tipo *glass cockpit* é eficaz em promover melhorias no nível de prontidão do projeto C-98, em relação às aeronaves C-98 com sistemas eletromecânicos. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão bibliográfica nas definições de prontidão da Força e seu alinhamento aos teóricos do tema. Em seguida, com base em estudos de confiabilidade, os sistemas de aviônicos do tipo eletromecânicos e eletrônicos foram examinados de modo a identificar a diferença entre a expectativa de disponibilidade das aeronaves, com foco na disponibilidade inerente. Como resultado foi observado que a Força Aérea Brasileira e os teóricos entendem a prontidão como a capacidade de cumprir uma missão com eficiência, comprovando a disponibilidade como parâmetro de prontidão. Quanto às métricas, os sistemas de aviônicos eletromecânicos promoveram uma expectativa de impacto negativo de 7,16% na disponibilidade da frota, valor aproximadamente cinco vezes maior que o das aeronaves eletrônicas, que apresentaram impacto negativo de apenas 1,34%. Portanto, foi possível constatar que sistemas eletrônicos podem projetar ganhos em termos de prontidão em torno de 5,82% em comparação aos sistemas eletromecânicos, concluindo assim que sistemas eletrônicos são eficazes em promover melhorias na prontidão da frota de aeronaves C-98 da FAB.

Palavras-Chave: Confiabilidade; Disponibilidade; Prontidão; Ciclo de Vida.

ABSTRACT

With the technological update of aircraft systems, gains in terms of reliability have been implemented in several fleets. In order to identify this kind of benefits in the Brazilian Air Force's (BAF) C-98 fleet, this work aimed to analyze to what extent the use of the the glass cockpit type of electronic indication system is effective in improving the level of readiness of the project C-98, compared to C-98 aircraft with electromechanical system. To achieve this objective, a bibliographic review was done on the definitions of readiness of the Force and its alignment with the theorists of the theme. Afterwards, based on reliability studies, the electromechanical and electronic avionics systems were examined in order to identify the difference between the expected availability of the fleet, focusing on the inherent availability. As a result, it was observed that the Brazilian Air Force and theorists understand readiness as the ability to efficiently fulfill a mission, proving that availability is a readiness parameter. As for metrics, the electromechanical avionics system had had an expected negative impact of 7.16% on fleet availability, which is approximately five times greater than the effect of the electronic aircraft, which had a negative impact of only 1.34%. Therefore, it was possible to verify that the electronic system carried gains in terms of readiness around 5.82% when compared to the electromechanical system, thus concluding that the electronic systems are effective in improving the aircraft readiness in the BAF's C-98 fleet.

Keywords: Reliability; Availability; Readiness; Life Cycle.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Curva da Banheira	15
Figura 2 – Curva da banheira itens eletrônicos e mecânicos	16
Figura 3 – Dados de acompanhamento de falhas de um sistema aleatório	17
Figura 4 – Diagrama de bloco de componentes em série	17
Figura 5 – Diagrama de bloco de componentes em paralelo	18
Figura 6 – Diagrama de bloco de componentes em paralelo e série associados	18
Figura 7 – Diagrama de bloco de componentes de sistema complexo	19
Figura 8 – Relação entre a composição da disponibilidade e disponibilidade inerente	21
Figura 9 – Representação da vista interna de um altímetro e horizonte artificial	22
Gráfico 1 – Diagrama de caixa dos dados de confiabilidade dos grupos de aeronaves	29
Gráfico 2 – Comparativo do tempo de manutenção corretiva dos sistemas.....	31
Quadro 1 – Descrição e divisão das aeronaves em grupos.....	23
Quadro 2 – Dados de confiabilidade do sistema eletromecânico e eletrônico	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Horas de voo projeto C-98 do ano de 2015 a 2020 por grupo de aeronaves	28
Tabela 2 – Horas de voo projeto C-98 do ano de 2015 a 2020	30
Tabela 3 – Dados para cálculo da disponibilidade dos sistemas em horas.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADF	<i>Automatic directional fanding</i>
ADT	Tempo médio de atraso administrativo
BAF	<i>Brazilian Air Force</i>
COMGAP	Comando Geral de Apoio
DIRMAB	Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico
DoD	<i>Department of Defense</i>
E	Aeronaves Cessna Gran Caravan modelo C208B com sistema eletrônico
EUA	Estados Unidos da América
FAB	Força Aérea Brasileira
LDT	Tempo médio de atraso logístico
M	Aeronaves Cessna Gran Caravan modelo C208B com sistema eletromecânico
Mct	Tempo médio de manutenção corretiva
MD35-G-01	Glossário da Forças Armadas
MEL	<i>Minimum Equipment List</i>
MMEL	<i>Master Minimum Equipment List</i>
Mpt	Tempo médio de manutenção preventiva
MS	Aeronaves Cessna Caravan modelo C208 com sistema eletromecânico
PEMAER	Plano Estratégico do Comando da Aeronáutica
POH	<i>Pilot Operating Handbook</i>
SILOMS	Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços

LISTA DE SÍMBOLOS

$P(E)$	Probabilidade de um evento aleatório denominado E acontecer
S	Espaço amostral
T	Tempo total ou tempo de intervalo da amostra
R	Confiabilidade
t	Tempo de referência para análise de confiabilidade
λ	Taxa de falha
e	Exponencial natural com base no número de Euler (2,718281828)
R_s	Confiabilidade de um sistema
R_c	Confiabilidade do componente
n	Número de componentes
A	Disponibilidade
C_t	Tempo total em atividade de manutenção corretiva
t_c	Tempo médio de manutenção corretiva
A_i	Disponibilidade inerente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Confiabilidade	14
2.2	Disponibilidade	20
3	METODOLOGIA.....	22
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	26
5	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS.....	36
	GLOSSÁRIO.....	38
	APÊNDICE A – Part numbers dos sistemas de aviônicos	39
	APÊNDICE B – Interconexões do sistema de aviônicos eletrônicos	40
	APÊNDICE C – Interconexões do sistema de aviônicos eletromecânicos.....	41
	APÊNDICE D – Sistema de confiabilidade para as aeronaves eletrônicas	42
	APÊNDICE E – Sistema de confiabilidade para as aeronaves eletromecânicas ..	43
	APÊNDICE F – Sistema eletromecânico de indicação de quantidade de combustível.....	44
	APÊNDICE G – Equação de disponibilidade inerente	45
	ANEXO A – Interconexões do sistema de aviônicos para Garmin 1000.....	46

1 INTRODUÇÃO

Na busca por segurança, desempenho, novas capacidades e redução de custos, a indústria aeronáutica é uma forte indutora de novas tecnologias. Entre elas está a utilização de itens eletrônicos no lugar de eletromecânicos, como o sistema *glass flight deck*, ou *glass cockpit*. Seguindo essa tendência, a Cessna, fabricante das aeronaves Caravan, denominadas C-98 na Força Aérea Brasileira (FAB), introduziu no ano de 2008 o sistema *glass cockpit* Garmin 1000 como equipamento padrão para o Caravan, sendo que a FAB adquiriu treze aeronaves com esse equipamento.

O objeto de estudo, as aeronaves Caravan da FAB, estão em operação na Força Aérea desde 1987, quando foi adquirida a primeira aeronave, o FAB 2701. Atualmente, a frota é composta por trinta aeronaves, sendo dezessete com sistemas de aviônicos eletromecânicos e treze com sistema eletrônico *Glass Cockpit* Garmin 1000.

Por possuírem itens eletrônicos no lugar de eletromecânicos, é esperado que as aeronaves C-98 com sistema *glass cockpit* apresentem melhorias em seu grau de prontidão em relação as aeronaves com sistemas eletromecânicos, contudo, devido a frota ser observada de forma única pelos sistemas de métrica da FAB, não é possível analisar de forma clara esse parâmetro dentro dos indicadores. Ainda, nos últimos anos o projeto apresentou tendência de queda em sua disponibilidade, o que vai de encontro com os ganhos esperados.

Sendo assim, para um melhor entendimento do impacto que essas aeronaves promovem dentro da frota, são necessárias análises mais profundas dentro das métricas do projeto C-98, em especial as relacionadas à prontidão das aeronaves. Com isso, espera-se um melhor entendimento da contribuição que as características ímpares dessas aeronaves trazem para a frota de C-98 da FAB. Isto posto, o presente trabalho apresenta a seguinte inquietação: em que medida o uso de sistemas de indicação eletrônicos do tipo *glass cockpit* nas aeronaves é eficaz para melhorias no nível de prontidão da frota de C-98, em relação as aeronaves com sistemas eletromecânicos?

Para atingir esse entendimento a pesquisa tem como objetivo geral, relacionado ao problema de pesquisa, analisar em que medida o uso de sistemas de indicação eletrônicos do tipo *glass cockpit* é eficaz em promover melhorias no nível de prontidão do projeto C-98, em relação às aeronaves C-98 com sistemas eletromecânicos.

O Plano Estratégico do Comando da Aeronáutica (PEMAER) tem entre seus objetivos “Ampliar a prontidão operacional dos Meios de Força Aérea voltados para o emprego, cuja

finalidade é garantir que os meios aéreos de combate estejam sempre prontos para cumprir sua missão” (BRASIL, 2018, p. 21).

O C-98 é uma aeronave com atuação de grande amplitude no território nacional. De constituição robusta, opera de norte a sul a partir de onze unidades militares ligadas a três grandes comandos e sem previsão de desativação, sendo um vetor aéreo essencial para apoio as organizações militares mais remotas e população civil dentro da região amazônica. Com isso, essa aeronave torna-se um vetor estratégico de grande importância para a Força.

A execução de análises referentes ao ciclo de vida de aeronaves são essenciais para a manutenção da operacionalidade da FAB. Com o propósito de garantir maior embasamento técnico para a pesquisa buscou-se teorias relacionadas à análise de ciclo de vida de equipamentos, em especial a confiabilidade e disponibilidade.

Portanto, a pesquisa realizada, relacionada a área de manutenção centrada em confiabilidade, é de grande importância para o apoio a processos decisórios dos grandes comandos, em especial ao Comando Geral de Apoio (COMGAP) e seu braço logístico, a Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico (DIRMAB), produzindo maior tecnicidade aos processos de manter, modificar, substituir ou desativar uma frota.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção serão registradas as principais teorias relacionadas ao tema desse trabalho e que, por sua vez, servirão para balizar o estudo. Como principais fontes são apresentados os autores Benjamim S. Blanchard, para assuntos relativos a conceitos gerais relacionados a métricas de performance, disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade, e Charles E. Ebeling, para maior aprofundamento nos conceitos relacionados ao levantamento, análise e cálculos relativos a sistemas de confiabilidade.

Blanchard trabalhou para a Força Aérea Americana nos anos 50 e várias empresas no ramo da aviação, tendo ingressado na carreira acadêmica nos anos 70. Terminou sua carreira na Universidade Virginia Tech, tendo contribuído significativamente para avanços em sistemas de engenharia no mundo todo. É referência nas áreas de sistemas de engenharia, confiabilidade, manutenibilidade, suporte logístico e custos do ciclo de vida de equipamentos. Ainda, é fonte de referência nos manuais do Departamento de Defesa (*Department of Defense - DoD*) dos Estados Unidos da América (EUA) alusivas à estudos de confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, com foco em elevar a capacidade de missão dos meios militares.

Charles E. Ebeling é professor emérito há vinte anos da Universidade de Dayton, Ohio, e apresenta em seu livro introdutório, *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering*, conceitos amplos na área de confiabilidade. O livro foi elaborado de forma didática sendo, além de bastante completo, de fácil compreensão. Os capítulos relativos a cálculos de confiabilidade, modelos de confiabilidade e análise de dados de falha, foram essenciais para atingir o objetivo geral dessa pesquisa.

Para entender de forma mais clara como os conceitos associados a confiabilidade se relacionam com a prontidão, é necessário que esse termo seja esclarecido de forma mais técnica. Nesse sentido, Betss (1995, apud LAURIA, 2017) apresenta em suas discussões acerca da prontidão militar o entendimento de que essa grandeza tem relação direta entre tempo e eficiência, ou seja, após receber a ordem, quanto tempo será necessário para que os meios militares estejam disponíveis para serem empregados no cumprimento da missão, sendo um composto de vários elementos que vão desde o treinamento de pessoal ao equipamento empregado.

Blanchard (2014) apresenta uma delimitação para o sentido do termo prontidão relacionada aos equipamentos, a prontidão operacional. Essa equivale a uma função entre o tempo em operação de um equipamento e seu tempo em atividades de manutenção e suporte, onde esse sistema de armas possui uma probabilidade de, após acionado, não somente estar pronto, como também cumprir a missão de forma satisfatória.

Dhillon (1999) reforça que para ganhos em termos de prontidão operacional a observação dos princípios de engenharia da manutenção, como manutenção centrada em confiabilidade, tem efeitos significativos para redução dos tempos de manutenção dos equipamentos por meio da queda nos modos e quantidades de falhas.

Considerando os termos apresentados, podemos perceber que os autores apresentam a prontidão de um equipamento como uma relação probabilística de seu correto funcionamento. Reforçando esse conhecimento, o DoD apresenta como pilares da prontidão dos equipamentos a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade (EUA, 2005, 2016).

Com os conceitos básicos acerca da prontidão estabelecidos de forma mais clara, é importante realizar uma melhor formulação dos termos disponibilidade e confiabilidade, apresentando-os de forma separada e buscando ao final sua interrelação. Inicialmente serão apresentados os conceitos básicos acerca da confiabilidade e seu processo de obtenção e cálculo.

2.1 Confiabilidade

Para promover o desenvolvimento de equipamentos com maior margem de segurança seriam necessárias análises determinísticas onde, por exemplo, uma falha ocorresse sempre após um número fixo de utilizações. Com isso, seria possível evitar que equipamentos parassem de funcionar em um momento não oportuno, contudo, o mundo de modo geral não opera de forma determinística (EBELING, 2019).

Para tratar das incertezas do mundo, análises de confiabilidade são realizadas de modo a considerar as falhas de um sistema como aleatórias. Nesse caso, um evento E que ocorre de forma randômica tem uma probabilidade $P(E)$ de ocorrer, sendo $0 \leq P(E) \leq 1$. Nesse cenário, zero seria a impossibilidade de ocorrência do evento e um a certeza de ele ocorrer (EBELING, 2019).

Ainda, ao tratar de eventos aleatórios, é importante considerar a variável aleatória, que é a função que associa um evento específico a uma parte do espaço amostral. Por exemplo, podemos observar nos componentes recolhidos dentro do espaço amostral S o tempo em que cada um apresentou falha, nosso valor aleatório. Assim, com base na função de distribuição desses valores, é possível determinar a probabilidade de um componente escolhido aleatoriamente no grupo tenha falhado dentro de um tempo estipulado (EBELING, 2019).

Então, quando tratamos da falha de um componente como uma variável aleatória, estamos considerando a função que traduz matematicamente a distribuição de falhas ocorridas em um tempo amostral T , que possibilita interpretarmos as probabilidades de um evento aleatório ocorrer.

Ao pensarmos em confiabilidade (*Reliability* – R), essa pode ser descrita como a probabilidade de um item ou componente operar satisfatoriamente por um determinado período e sob condições específicas, ou seja, é a probabilidade de que, considerando uma distribuição de falha, ele não pare de funcionar dentro de um certo período. Sendo assim, quando tratamos de confiabilidade estamos também tratando da qualidade dos produtos (EBELING, 2019).

Considerando os modelos de distribuição de falha, o modelo exponencial encontra-se entre os mais comuns. Falhas que ocorrem de forma completamente aleatória seguem este modelo de distribuição. Ele se baseia em um Processo de Poisson, que é uma distribuição de probabilidade de variável aleatória discreta que expressa a probabilidade de uma série de eventos independentes ocorrerem num certo período, se estes eventos ocorrem independentemente de quando ocorreu o último evento, sendo que, para o número zero de

eventos, a curva assume uma função exponencial, conforme Equação 1, onde R equivale a confiabilidade do sistema, t ao tempo de referência para análise e λ a taxa de falha (EBELING, 2019; PINHEIRO *et al.*, 2012):

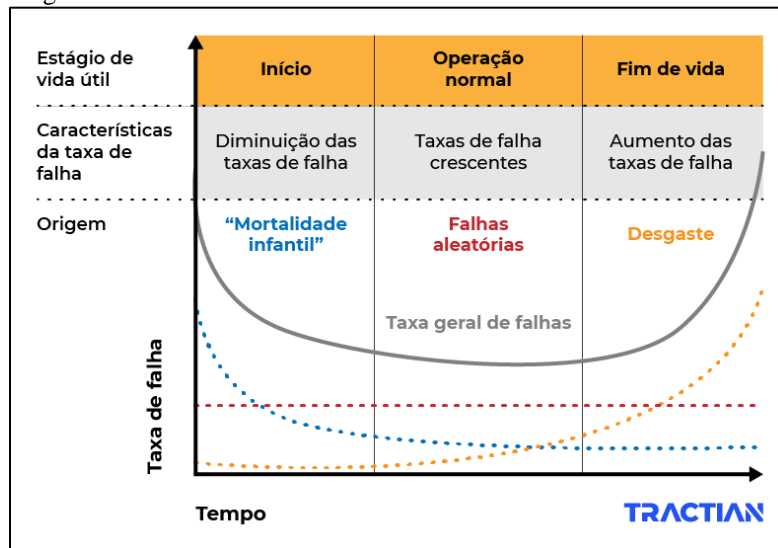
$$R = e^{-t\lambda} \quad (1)$$

Considerando a Equação 1, podemos observar que a taxa de falha é uma das características mais importantes, pois é a única variável correlacionada com as características do equipamento e tem relação inversa com a confiabilidade. Quanto maior a taxa de falha menor a confiabilidade.

A taxa de falha é a probabilidade de que a falha de um equipamento ocorra ao longo do tempo. Sendo assim, existe uma relação direta entre o tempo e a taxa de falha. No início do ciclo de vida os itens apresentam taxas de falha maiores devido principalmente a problemas relacionados ao projeto. Com o tempo as anomalias são corrigidas e o item inicia sua vida útil. Com o envelhecimento retorna à tendência de crescimento da taxa de falhas, desta vez devido ao desgaste dos equipamentos (BLANCHARD, 2014).

A Figura 1 apresenta uma curva da banheira padrão, que é a representação gráfica mais comum utilizada para exemplificar a evolução da taxa de falhas dos equipamentos dentro do ciclo de vida.

Figura 1 – Curva da Banheira

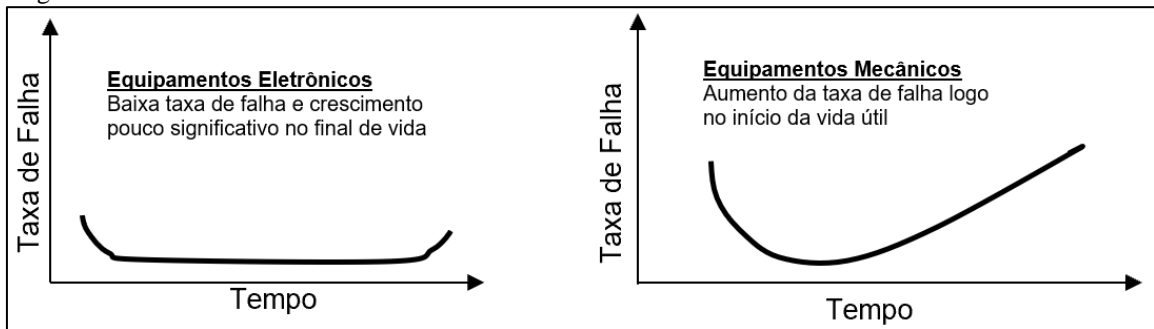


Fonte: Marinelli (2014)

Ainda, devido a características específicas, itens mecânicos apresentam essa tendência de crescimento logo no início de sua vida útil, enquanto itens eletrônicos tem tendência a estabilidade por longo período (BLANCHARD, 2014).

A Figura 2 demonstra de forma gráfica o padrão esperado para evolução da taxa de falhas de itens eletrônicos e mecânicos, não sendo apresentado de forma comparativa, apenas ilustrativa, podendo variar conforme as características específicas dos componentes.

Figura 2 – Curva da banheira itens eletrônicos e mecânicos



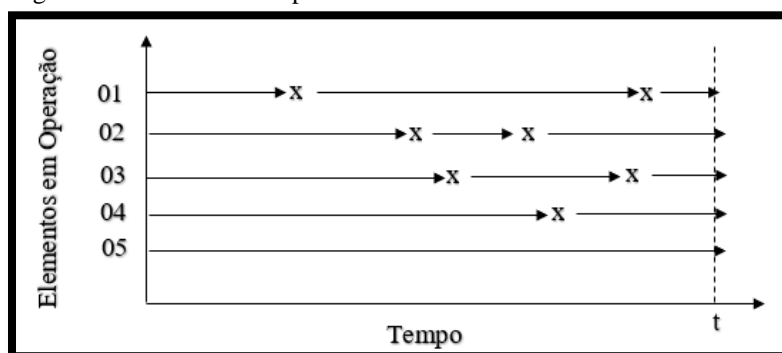
Fonte: Adaptado de Blanchard (2014, p. 54)

Considerando um sistema operando de forma específica por um tempo t , por exemplo um componente instalado em um grupo de aeronaves, com o tempo poderão ser observadas a ocorrência de falhas de forma aleatória. Conforme Blanchard (2014) destaca com propriedade, a taxa de falha para esse sistema é igual a razão entre o número de falhas e o total de tempo em operação, conforme Equação 2:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{tempo}} \quad (2)$$

Os conceitos de taxa de falha podem ser aplicados tanto individualmente, no tempo específico de falha de um componente, como em grupo, quando um número n de componentes operam juntos dentro de um tempo total T , sendo T a soma dos tempos totais de operação do sistema (MEEKER e ESCOBAR, 1998). A Figura 3 exemplifica um sistema de cinco elementos operando por um tempo t , tendo ocorrido um total de sete falhas no sistema. Para esse sistema a taxa de falha seria equivalente a cinco vezes t , dividido por sete.

Figura 3 – Dados de acompanhamento de falhas de um sistema aleatório



Fonte: Adaptado de Meeker e Escobar (1998, p. 5)

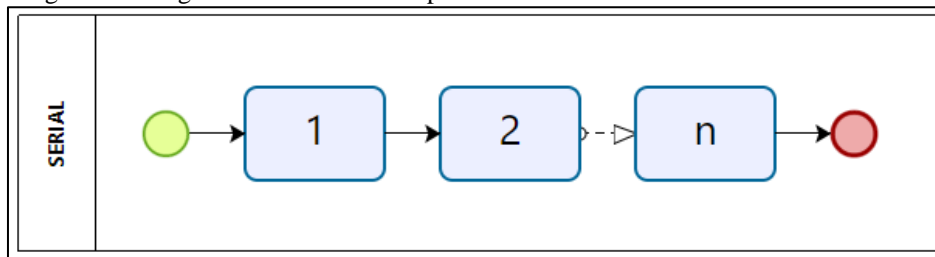
Até este ponto foram clarificados os conhecimentos e processos para entender e calcular a confiabilidade de um material ou componente, sem que fossem consideradas suas partes. Todavia, aeronaves são formadas por muitos componentes, e esses devem ser analisados na forma de sistema, identificando a relação de ligação entre os objetos. Na construção de sistemas de confiabilidade Ebeling (2019) destaca dois modos primários: i) serial; e ii) paralelo.

O sistema de ligação em série tem como principal característica o fato de que, para o sistema funcionar, todos os componentes pertencentes a ele devem estar operando. Para sistemas em série a confiabilidade do sistema é igual produto da confiabilidade entre os componentes. Ainda, por notação matemática, a confiabilidade do sistema não poderá ser maior que a do componente de menor confiabilidade. Para sistemas em série é importante que todos os componentes tenham uma alta confiabilidade, principalmente para sistemas com muitos componentes (BLANCHARD, 2014; EBELING, 2019). A Equação 3 apresenta a notação para esse sistema:

$$R_s = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \quad (3)$$

A Figura 4 apresenta em forma de diagrama um sistema de componentes com relação em série.

Figura 4 – Diagrama de bloco de componentes em série



Fonte: Adaptado de Ebeling (2019, p. 121)

O sistema em paralelo, ou de redundância, tem como principal característica majorar a confiabilidade do sistema. Ao contrário do sistema em série, em um sistema em paralelo o funcionamento de um componente é suficiente para que o sistema esteja em operação (EBELING, 2019). Ou seja, a confiabilidade de um sistema em paralelo é igual a um menos o produto da probabilidade de falha de cada componente, conforme Equação 4.

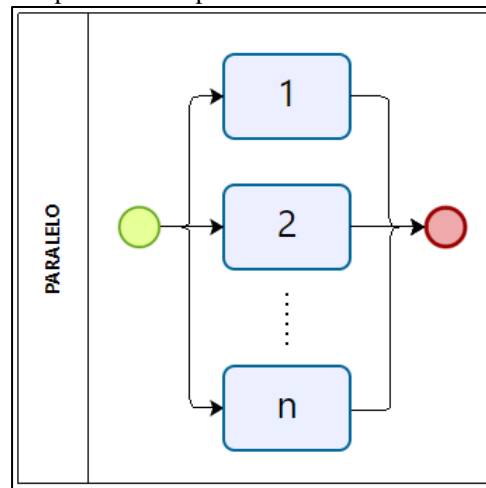
$$R_s = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)] \quad (4)$$

Para sistemas onde os componentes em paralelo são idênticos, ou seja, possuem o mesmo R , a expressão de confiabilidade pode ser apresentada conforme Equação 5, onde n é o número de componentes:

$$R_s = 1 - (1 - R_c)^n \quad (5)$$

Conforme cita Blanchard (2014), sistemas em paralelo são utilizados prioritariamente para se obter melhores índices de confiabilidade em sistemas onde um ou mais componentes apresentem características que levam a ter menor confiabilidade, como itens mecânicos ou que apresentem muitos componentes. Ou ainda, e principalmente no caso de aeronaves, trazer maior segurança para componentes que, em caso de falha, não somente impactariam na operação do sistema, como também poderiam levar a um acidente. A Figura 5 apresenta um diagrama esquemático para um sistema em paralelo.

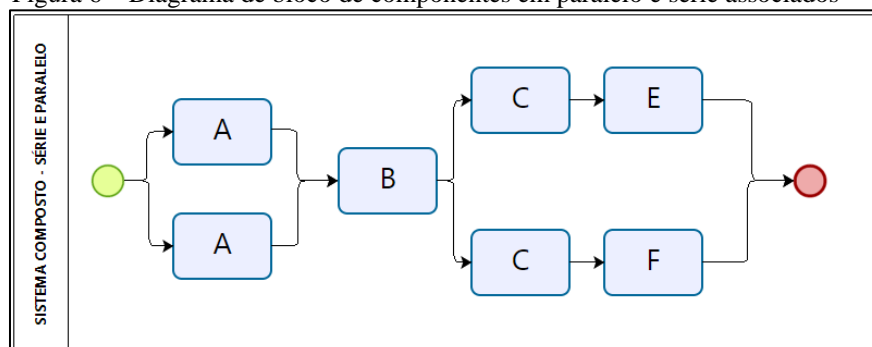
Figura 5 – Diagrama de bloco de componentes em paralelo



Fonte: Adaptado de Ebeling (2019, p. 124)

A grande maioria dos componentes de um sistema seguem as ligações em série e em paralelo. Durante o desenvolvimento de sistemas os técnicos em engenharia de confiabilidade podem utilizar a combinação desses dois tipos de ligação para obter diversos níveis de confiabilidade, conforme esquematizado na Figura 6 e demonstrado na Equação 6.

Figura 6 – Diagrama de bloco de componentes em paralelo e série associados

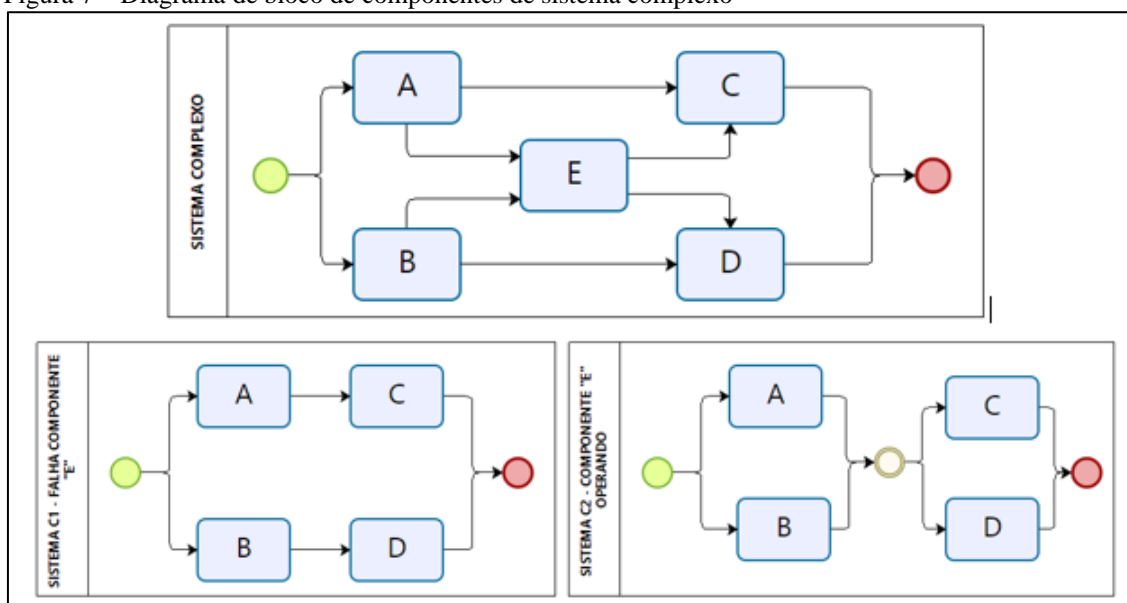


Fonte: Adaptado de Blanchard (2014, p. 59)

$$R_s = [1 - (1 - R_A)^2] \times R_B \times 1 - \{[1 - (R_C \times R_E)] \times [1 - (R_C \times R_F)]\} \quad (6)$$

Além das ligações em série e paralelo, existe um outro tipo de ligação, denominada de sistema complexo, onde não é possível fazer uma análise direta para as ligações em série e paralelo. No modelo apresentado na Figura 7 o componente “E” tem uma ligação complexa dentro do sistema e sua falha ou não tem um impacto direto em sua confiabilidade. Caso “E” não esteja operando o sistema seguirá conforme o SISTEMA C1 da Figura 7. Caso “E” esteja operando o sistema deverá obrigatoriamente seguir por ele, fazendo com que “A” e “B”, assim como “C” e “D”, estejam em uma ligação paralela, conforme o SISTEMA C2 da Figura 7 (EBELING, 2019).

Figura 7 – Diagrama de bloco de componentes de sistema complexo



Fonte: Adaptado de Ebeling (2019, p. 129)

Neste caso, a confiabilidade deverá ser calculada com base na soma de sucesso de ocorrência de ambos os sistemas, ou seja, a probabilidade de “E” falhar $(1 - R_E)$ vezes a confiabilidade do SISTEMA C1 (R_{C1}) , mais a probabilidade de “E” não falhar (R_E) vezes a confiabilidade do SISTEMA C2 (R_{C2}) .

$$R_s = [(1 - R_E) \times R_{C1}] + [R_E \times R_{C2}] \quad (7)$$

A diagramação de um sistema complexo nem sempre permite precisão gráfica, sendo necessário adaptações que demonstrem de forma o mais precisa possível o funcionamento do sistema e suas relações, descrevendo-as se necessário.

Aeronaves são máquinas complexas compostas por partes inter-relacionadas, podendo ter esses componentes e suas relações esquematizadas por meio da montagem de diagramas de sistemas de confiabilidade. Considerando os componentes críticos de uma aeronave, ou de parte específica dessa, é possível inferir a confiabilidade de todo o sistema e assim uma expectativa

do número de vezes que esta aeronave deverá ter sua operação interrompida para serviços de manutenção corretiva. A obtenção desse tempo é o primeiro passo para a projeção da disponibilidade do equipamento.

2.2 Disponibilidade

Ao tratarmos de disponibilidade (*Availability – A*), Blanchard (2014, p. 74, tradução nossa), apresenta esta grandeza como “o grau, porcentagem ou probabilidade de um sistema estar pronto ou disponível quando necessário [...] sendo referente a probabilidade desse sistema não somente estar pronto quando requerido como também ser capaz de cumprir toda a missão de maneira satisfatória”. É a relação direta entre o tempo em que o equipamento ficou disponível para operar ou operando e o tempo total decorrido, conforme Equação 8:

$$A = \frac{\textit{tempo disponível}}{\textit{tempo disponível} + \textit{tempo indisponível}} \quad (8)$$

Quando tratamos do elemento tempo indisponível, Blanchard (2014) o divide em quatro partes: i) tempo médio de manutenção preventiva (*Mpt*); ii) tempo médio de manutenção corretiva (*Mct*); iii) tempo médio de atraso logístico (*LDT*); e iv) tempo médio de atraso administrativo (*ADT*).

A *Mpt* trata do tempo que a aeronave fica indisponível fazendo atividades previstas no plano de manutenção. A *LDT* é o tempo que ocorre após uma falha na cadeia de suprimentos na espera de peças e *spare parts* para que reparos sejam feitos, equipamentos de teste e ferramentas, transporte, uso de instalações, em resumo, tudo necessário para se executar as atividades de apoio manutenção. A *ADT* é relacionada aos atrasos por atividades puramente administrativas, desde greves à falta de pessoal ou suporte de sistemas telemáticos. Por fim, e com maior relação dentro deste trabalho, está a *Mct*, que se relaciona com as paradas não programadas do equipamento devido a falhas (BLANCHARD, 2014).

Com a falha são necessárias ações para que o equipamento seja retornado ao seu estado da operação plena. Esses passos vão desde a identificação do problema, reparo ou substituição do equipamento, até os testes e calibrações necessárias para que a operação retorne satisfatoriamente, sendo equivalente a divisão das somas dos tempos de serviço corretivo pelo número de falhas (BLANCHARD, 2014).

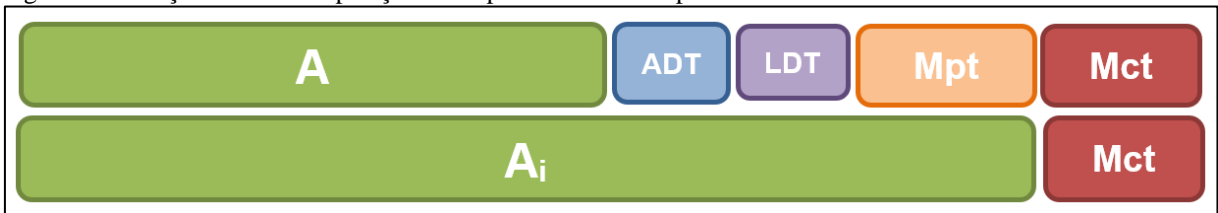
Como um fator probabilístico, a *Mct* é composta inicialmente pelo tempo total em atividade de manutenção corretiva (*Ct*) em um certo período de análise (*T*). Sendo assim,

considerando um período T e uma média de tempo necessário para a correção das inconformidades t_c e a taxa de falha de um dado equipamento ou sistema, o tempo total em atividade corretiva pode ser expresso conforme Equação 9:

$$Ct = t_c \times (T \times \lambda) \quad (9)$$

A Mct está diretamente relacionada com a disponibilidade inerente (A_i), que considera um ambiente de suporte ideal, ou seja, quando ocorre a falha o sistema fica parado apenas o tempo necessária para reparo, sem falta de material, mão de obra, atrasos administrativos ou mesmo atividades preventivas. A Figura 8 representa a relação entre os fatores de composição da disponibilidade e sua relação com a disponibilidade inerente.

Figura 8 – Relação entre a composição da disponibilidade e disponibilidade inerente



Fonte: O autor

Sendo assim, resumidamente, podemos definir a disponibilidade inerente de um sistema como a disponibilidade em um sistema de falhas não programadas com suporte perfeito, sendo matematicamente expressa conforme a Equação 10 (BLANCHARD, 2014):

$$A_i = \frac{T - [Ct]}{T} \quad (10)$$

Ou, substituindo Ct com os parâmetros apresentada na Equação 9, teremos a A_i expressa conforme Equação 11:

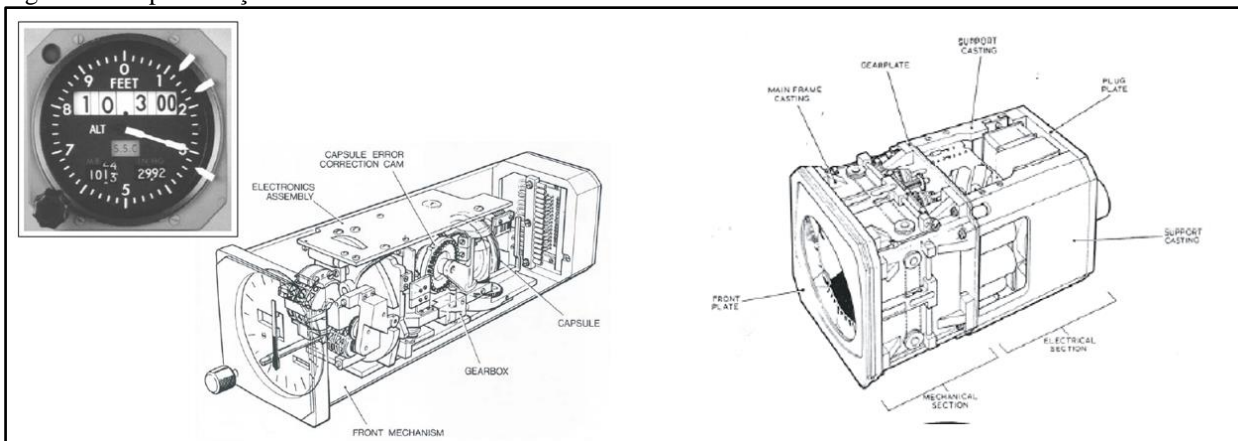
$$A_i = \frac{T - [t_c \times (T \times \lambda)]}{T} \quad (11)$$

Considerando o objeto de pesquisa, equipamentos com propriedades bastante distintas em termos de expectativa de taxa de falha devido a suas características construtivas e de material, é esperado que itens eletromecânicos apresentem maior taxa de falha que itens eletrônicos. A taxa de falha de um sistema é composta pela taxa de falha de seus componentes. Itens eletromecânicos, como horizontes artificiais, altímetros e velocímetros possuem uma grande gama de itens internos com alto grau de sensibilidade.

Na Figura 9 pode ser observada a visão interna de dois instrumentos eletromecânicos, um altímetro e um horizonte artificial. Apesar de necessitar de energia elétrica para seu funcionamento, diferente de um componente eletrônico, esses são compostos por muitas partes

mecânicas que se movimentam e sofrem desgaste com o passar do tempo, contribuindo assim para sua confiabilidade inferior em relação a itens eletrônicos.

Figura 9 – Representação da vista interna de um altímetro e horizonte artificial



Fonte: Moir e Seabridge (2003, p. 166 e p. 169)

Cabe ressaltar que, de acordo com a Equação 3, quanto maior o número de componentes interdependentes em um sistema, maior deve ser a confiabilidade individual de cada item para que o sistema apresente índices de confiabilidade satisfatórios. Conforme pode ser observado no Apêndice A, enquanto o sistema eletrônico possui apenas oito componentes em seu sistema, o sistema eletromecânico possui vinte e quatro, corroborando para a expectativa de melhores índices para o sistema eletrônico.

Com os dados de taxa de falha de cada um dos componentes e suas ligações dentro do sistema, é possível obter a expectativa do número de vezes que esse sistema deverá falhar dentro de um tempo T , bem como o tempo que o sistema ficará indisponível dentro desse tempo T , considerando um tempo médio de correção t_c . Tendo o conhecimento das teorias aplicadas ao objetivo cerne desse trabalho, é possível avançar para o entendimento dos processos para obtenção e análise dos dados que permitiu que fosse atingido o objetivo geral dessa pesquisa: analisar em que medida o uso de sistemas de indicação eletrônicos do tipo *glass cockpit* é eficaz em promover melhorias no nível de prontidão do projeto C-98, em relação às aeronaves C-98 com sistemas eletromecânicos.

3 METODOLOGIA

Em posse dos conhecimentos necessários para prover embasamento à análise, relativos ao ciclo de vida, manutenção de suporte, métricas de manutenibilidade e manutenção centrada em confiabilidade, foi necessário o estabelecimento de processos e métodos para transformar o

banco de dados pertencente aos dois grupos de aeronaves, sendo um com sistemas eletromecânicos e outro com sistema eletrônico, em informações passíveis de crítica. Em adição, foi necessário entender com maior profundidade os conceitos de prontidão para as Forças Armadas e FAB.

Para identificar os conceitos de prontidão na FAB e sua relação com as métricas de confiabilidade, buscou-se por meio de uma revisão bibliográfica as definições relativas ao assunto prontidão, seu alinhamento com a definição de prontidão da FAB e sua relação com os conceitos de confiabilidade.

Em seguida, com objetivo de identificar o impacto do sistema de aviônicos eletromecânico e eletrônico na prontidão das aeronaves, foi levantada a base de dados por meio da ferramenta SILOMS 11G, do Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços (SILOMS). Os dados utilizados foram relativos as horas de voo e recolhimento de equipamentos. Devido a capacidade do SILOMS de fornecer todos os dados do período, foi possível analisar todo o universo de dados dentro do espaço amostral para essa pesquisa.

Por se tratar de uma análise comparativa entre grupos de aeronaves, esses foram divididos conforme apresentado no Quadro 1, sendo o grupo E composto pelas aeronaves eletrônicas Cessna Gran Caravan com sistema de aviônicos Garmin 1000. O grupo M pelas eletromecânicas do modelo Cessna Gran Caravan. Sua principal diferença para o Grupo E dentro do objeto da pesquisa é o sistema de aviônicos.

Ainda, foi identificado o grupo MS de aeronaves Cessna Caravan, que são menores em termos longitudinais se comparado as aeronaves Gran Caravan do grupo M, e operam com sistemas eletromecânicos. Foi necessária a subdivisão das eletromecânicas em dois subgrupos devido a componentes que operaram em ambos. Com isso as horas do grupo MS devem ser consideradas para cálculos de taxa de falha para esses componentes.

Quadro 1 – Descrição e divisão das aeronaves em grupos

Sigla	Descrição
E	Aeronaves Cessna Gran Caravan modelo C208B com sistema eletrônico
M	Aeronaves Cessna Gran Caravan modelo C208B com sistema eletromecânico
MS	Aeronaves Cessna Caravan modelo C208 com sistema eletromecânico

Fonte: O autor

Os dados de hora de voo foram criticados de forma a separar as horas voadas pelo grupo com sistemas eletromecânicos e eletrônicos. Quanto às informações de recolhimento, foi realizada a extração focada nos itens do sistema eletrônico e seus equivalentes do sistema eletromecânico. No Apêndice A podem ser observados o *part number* principal de cada

material. Os dados extraídos são concentrados no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2020.

O período de início foi elencado devido a todas as aeronaves eletrônicas pertencentes ao acervo atual já estarem em operação na FAB. O de término foi definido de modo que ocorresse antes da entrada em vigência do novo sistema de suporte logístico da frota, o que poderia impactar na qualidade dos dados devido a processos específicos de recolhimento de material.

Por fim, e como uma das limitações, não foram considerados os modos de falha apresentados, sendo todos os recolhimentos computados como falha, tendo em vista que nenhum dos equipamentos tem recolhimento por revisão geral ou tempo limite de vida. A presente limitação não apresenta impacto no resultado, tendo em vista que esse processo foi considerado para ambos os grupos e, independente da confirmação da falha, os itens foram recolhidos e tiveram que ser substituídos, causando a parada da aeronave. Ainda, foram retiradas, com base na experiência do pesquisador, as duplicações de dados.

Uma segunda limitação foi que não foram realizadas pesquisas acerca de possíveis características de falha por desgaste devido ao tempo de uso ou falhas de manutenção, por meio da análise de distribuição de Beta de Weibull, estudo pertinente em algumas análises de confiabilidade de componentes para entender sua situação dentro do ciclo de vida.

O resultado obtido foi submetido a cálculos, conforme teoria referencial, de modo a obter a confiabilidade de ambos os sistemas. Com objetivo de obter maior precisão e eficiência, foi utilizada planilha eletrônica de cálculos. Como modelo de distribuição de falha foi selecionado a função exponencial de confiabilidade, por ser uma das mais comuns para tratamento de dado em sistemas com falhas consideradas aleatórias e independentes.

As informações de horas voadas e recolhimentos permitiram a obtenção das taxas de falha dos equipamentos. Em complemento, para obtermos a confiabilidade de um sistema que, segundo Ebeling (2019), deve operar por um período específico e atender determinada função, foi necessário estabelecer o período t e a funcionalidade esperada. Para t foi estabelecido o valor de cem horas, que é o período entre inspeções programadas do Caravan na FAB. Quanto a funcionalidade foi selecionada a operação da aeronave para voo por instrumentos.

Para determinação dos parâmetros de ligação do sistema de confiabilidade foi considerando o Manual de Manutenção da Aeronave C-98, a *Minimum Equipment List* (MEL) da aeronave presente no *Pilots Operating Handbook* (POH), a *Master Minimum Equipment List* (MMEL) do *U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration*, e o Manual

de Manutenção do sistema Garmin 1000, em especial o diagrama de interconexão dos sistemas, apresentado no Anexo A. O sistema de navegação ADF, *automatic directional fanding*, foi excluído da análise por ser o mesmo para ambos os grupos.

Para melhor entendimento dos sistemas de confiabilidade para as aeronaves eletrônicas e eletromecânicas para a funcionalidade apresentada, o sistema é apresentado de forma detalhada nos Apêndices B e C. Utilizou-se uma ferramenta para apresentação gráfica como apoio para a esquematização dos sistemas de confiabilidade de modo a simplificar observação das ligações em série a paralela dos sistemas. Cabe ressaltar que, para essa a análise, todos os componentes do sistema são considerados críticos, ou seja, sua falha impacta na operação do sistema.

Ainda, para o sistema eletromecânico, no Apêndice C foi destacado o sistema complexo relativo ao subsistema de indicação de combustível. O subsistema é composto por um totalizador de combustível e dois indicadores de quantidade, um para cada asa. Para que o sistema cumpra sua função ou ambos os indicadores de quantidade devem estar operando, ou, em caso de falha de um dos indicadores, o totalizador deve estar operando. Assim, a confiabilidade do sistema será composta pela soma da probabilidade dos três possíveis casos ocorrerem.

Em posse dos dados de confiabilidade e da montagem dos sistemas foi possível, com base na Equação 9, obter a taxa de falha total dos sistemas e utilizá-la para cálculo da expectativa de tempo médio em manutenção corretiva (Mct) para os grupos.

Para obtenção dos dados foi necessário o estabelecimento de premissas para o tempo total T e tempo para solução da discrepância t_c . Para T foi considerado o valor médio anual de horas de voo da frota de Caravan entre 2015 e 2020, independente do modelo utilizado. O valor obtido servirá como referência para cálculos de modo a simular uma frota operando pelo mesmo período com cada tipo de sistema considerado, permitindo assim uma comparação direta.

Já t_c foi definido com base na mediana de um tempo aleatório de solução de inconformidade, variando de uma a oito horas para três mil ocorrências. Considerou-se a ferramenta estatística de mediana por ser uma análise que permite a obtenção de um ponto médio que acompanha o movimento e dispersão dos dados dentro de uma série, sendo dividida em dois grupos iguais, onde cada série contém 50% dos dados (VIEIRA, 2013).

Com a taxa de falha de cada sistema e a especificação de T e t_c foi possível identificar a expectativa de tempo que cada sistema ficará indisponível em atividades de manutenção corretiva e, conseqüentemente, determinar a disponibilidade inerente de ambos os sistemas e

assim apontar o impacto do sistema de aviônicos eletromecânico e eletrônico na prontidão das aeronaves.

Para cumprir o objetivo de pesquisa, analisar em que medida o uso de sistemas de indicação eletrônicos do tipo *glass cockpit* é eficaz em promover melhorias no nível de prontidão do projeto C-98, em relação às aeronaves C-98 com sistemas eletromecânicos, as disponibilidades inerentes de ambos os sistemas foram comparadas, buscando identificar em termos quantitativos a relação entre os parâmetros obtidos para cada grupo de aeronaves.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Conforme podemos observar nas teorias apresentadas, a prontidão é uma relação entre a velocidade para atender a demanda e a eficiência em cumpri-la. Ainda, a prontidão dos equipamentos, ou prontidão operacional, é definida como a probabilidade de um meio acionado estar pronto a atender a demanda satisfatoriamente. Após retomados os conceitos básicos do tema, podemos buscar no Glossário da Forças Armadas (MD35-G-01) o princípio de prontidão aplicado para as Forças Armadas Brasileiras:

PRINCÍPIO DA PRONTIDÃO - Princípio de Guerra que se define como a capacidade de pronto atendimento das Forças Armadas para fazer face às situações que podem ocorrer em ambiente de combate. A prontidão fundamenta-se na organização, no adestramento, na doutrina, nos meios e no profissionalismo das forças [...] (Brasil, 2016, p. 221, grifo nosso)

Porquanto, de modo inicial, podemos inferir que o conceito de prontidão das Forças Armadas segue alinhado com os conceitos dos autores, pois também trata da velocidade de atender a demanda, ao tratar do pronto atendimento, e da eficiência de cumprimento da demanda, ao enfatizar na capacidade de fazer face as situações.

Para a FAB, em termos de prontidão, seus meios militares devem “ter a capacidade de pronto atendimento às Hipóteses de Emprego [...] bem como a aptidão para resposta imediata a qualquer ameaça, inopinada ou não, à soberania do espaço aéreo nacional” (Brasil, 2012, p. 30, grifo nosso), mantendo então o conceito de velocidade no atendimento e de eficiência, ao citar que os meios devem estar aptos em responder a qualquer ameaça à soberania do espaço aéreo.

Quanto a prontidão operacional, o Glossário das Forças Armadas traz o conceito de forma similar aos autores, ao descrevê-la como o “estado de preparação de uma unidade ou força militar, caracterizado pela capacidade de pronta-resposta a todo ato hostil de origem externa ou interna” (Brasil, 2016, p. 226, grifo nosso). Na FAB o termo prontidão operacional

não tem uma denominação específica, todavia, sua importância é citada na Concepção Estratégica da Força Aérea 100, ao enfatizar que os Meios de Força Aérea devem buscá-la “para enfrentar os desafios que o domínio dos céus exigirá nas próximas décadas” (Brasil, 2018, p. 33).

Sendo assim, quanto a prontidão operacional, podemos inferir que tanto o MD35-G-01 como os autores apresentados tratam da prontidão operacional como a capacidade dos meios de oferecerem pronta-resposta a ameaças, sendo que para a Força Aérea o principal meio militar são as aeronaves. Ainda, pode ser observado que, apesar de citar sua importância, a FAB não apresenta em sua doutrina conceitos específicos para a prontidão operacional ou mesmo métricas para a sua análise.

Mediante o exposto, a fim de cumprir a proposta de identificar os conceitos de prontidão na FAB e sua relação com as métricas de confiabilidade, podemos concluir que os conceitos de prontidão das Forças Armadas Brasileiras e da FAB estão em consonância com os conceitos apresentados pelos autores citados. Ainda, apesar de não apresentar um conceito específico em suas publicações, devido ao alinhamento presente da MD35-G-01, é possível evidenciar que as métricas apresentadas por esses mesmos autores tem aplicabilidade para análises dentro dos meios de Força Aérea, ou seja, a relação existente entre a prontidão e a as métricas de disponibilidade para os meios militares.

A prontidão operacional é apresentada em termos da probabilidade de cumprimento da missão. Ao identificar os conceitos de disponibilidade e confiabilidade apresentados, é possível denotar que ambos têm uma relação direta, tendo em vista que tanto a confiabilidade quanto a disponibilidade possuem uma relação com a taxa de falha, na medida que quanto menor for a taxa de falha maior será a confiabilidade e disponibilidade do sistema.

Tendo concluído o primeiro objetivo específico, foi possível avançar na busca pela identificação da confiabilidade dos sistemas eletrônico e eletromecânico das aeronaves C-98. Para a obtenção da confiabilidade, conforme Equação 1, foi necessário identificar a taxa de falha de cada um dos componentes pertencentes ao sistema de confiabilidade e definir um tempo t dentro do qual haverá uma probabilidade de falha para cada componente.

A taxa de falha é representada pelo quociente entre o número de falhas dentro de um período. Para referência de período foi verificado por meio do SILOMS a quantidade de horas voadas por cada grupo de aeronaves. A quantidade de recolhimentos foi igualmente obtida por meio da ferramenta SILOMS, identificando assim quantas vezes dentro do período de análise

cada componente apresentou uma falha, devendo então ser substituído. Na Tabela 1 pode ser observada a quantidade de horas por grupos de aeronaves.

Tabela 1 – Horas de voo projeto C-98 do ano de 2015 a 2020 por grupo de aeronaves

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total geral
E	4439:05	3355:35	5249:50	5500:30	5318:20	5536:25	29399:45
M	2511:45	1831:00	2505:50	3339:20	3135:55	3621:30	16945:20
MS	1299:55	620:00	1134:25	1651:50	1503:25	1294:55	7504:30

Fonte: Elaborado a partir de Brasil, 2022

Para o tempo t foi definido o valor de cem horas de voo, seguindo os parâmetros de intervalos entre inspeções programadas na FAB. Com os dados de taxa de falha e tempo de referência foi obtida a confiabilidade de cada componente, apresentada no Quadro 2:

Quadro 2 – Dados de confiabilidade do sistema eletromecânico e eletrônico

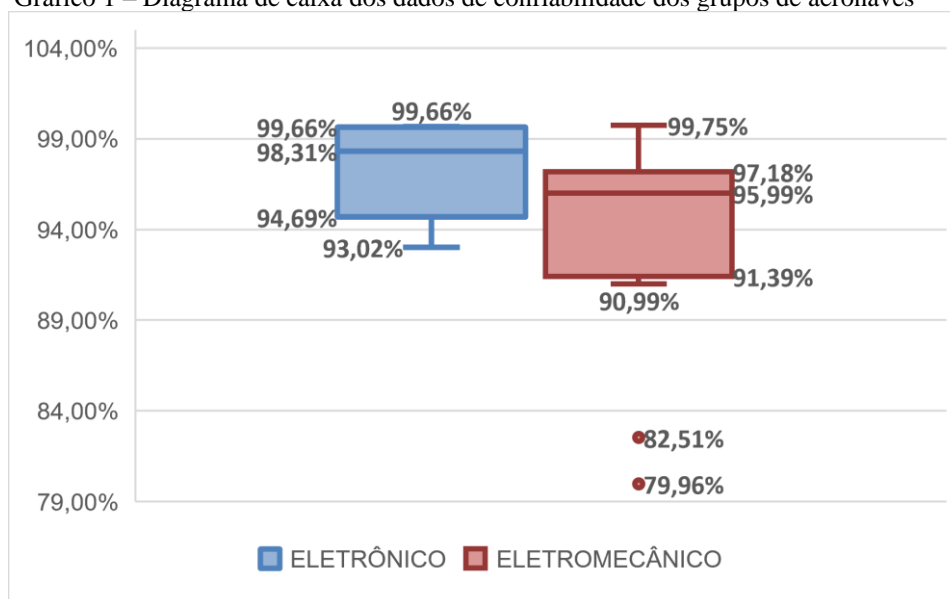
ELETROMECAÂNICO				
PAINEL ALARMES	VELOCÍMETRO	HORIZONTE 1P	ALTÍMETRO 1P	SLAVE BÚSSOLA
95,21%	91,39%	82,51%	94,05%	91,02%
TRANSPONDER	NAV/COM	PAU E BOLA	CLIMB	RMI/HSI
90,99%	79,96%	92,52%	96,78%	96,97%
VOLTAMPÉRÍMETRO	PAINEL AUDIO	DME RECEIVER	DME INDICADOR	VOLT INDICADOR
97,18%	92,52%	97,18%	95,99%	97,18%
TEMP INTER TURBINAS	TEMP E PRESSÃO ÓLEO	ROTAÇÃO HÉLICE	ROT TURBINA MOTOR	BÚSSOLA ELÉTRICA
98,38%	93,67%	97,18%	93,67%	97,58%
TORQUE DA HÉLICE	TACOGERADORES	FLUXÔMETRO	SIST INDICAÇÃO COMB	R
97,09%	96,39%	98,78%	99,75%	23,88%
ELETRÔNICO				
PFD 1	MFD/PFD 2	PAINEL AUDIO	INT. AVIÔNICOS	AHAS
95,03%	95,27%	99,66%	98,67%	99,66%
TRANSPONDER	INSTR. MOTOR	BÚSSOLA ELÉTRICA	AIR DATA COMP	R
99,66%	98,31%	93,02%	94,69%	76,56%

Fonte: O autor

Analisando os dados de confiabilidade por meio da ferramenta estatística Diagrama de Caixa, conforme Gráfico 1, foi possível identificar que os itens do sistema eletrônico apresentaram confiabilidade superior aos itens eletromecânicos. Os itens eletrônicos apresentaram grande concentração, quase 75% dos componentes, acima de 95% de confiabilidade. Em contrapartida, o grupo eletromecânico apresentou somente 50% dos itens acima de 95%, sendo apenas 25% desses acima de 97%. Para o grupo eletrônico os 50% dos itens com maior confiabilidade estiveram acima de 98%.

Além de apresentar maior número de componentes e valores de confiabilidade inferiores, observou-se também a presença de dois materiais cuja confiabilidade foge estatisticamente do grupo de dados, sendo *outliers*, o que contribui para reforçar o impacto negativo na confiabilidade de todo o sistema, tendo em vista que a confiabilidade de um sistema em série não pode ser maior que a menor confiabilidade individual.

Gráfico 1 – Diagrama de caixa dos dados de confiabilidade dos grupos de aeronaves



Fonte: O autor

Outro ponto de destaque foi a baixa frequência de repetição de *serial numbers* observada no banco de dados de recolhimento, demonstrando que itens com possível característica de envelhecimento ou falha de manutenção podem ser considerados uma exceção, não sendo significativos para o resultado desse trabalho. Todavia, análises por meio da distribuição de Beta de Weibull, em especial para os *outliers* encontrados, podem ser efetuadas para melhor entender a situação desse material dentro do ciclo de vida.

Considerando os sistemas apresentados, identificou-se a confiabilidade de 76,56% para as aeronaves eletrônicas e 23,88% para as eletromecânicas. Deste modo, podemos afirmar que a confiabilidade do sistema eletrônico é 3,2 vezes maior que o do sistema eletromecânico. Em outras palavras, os resultados obtidos até o momento corroboram com a teoria de referência, tendo em vista que o sistema com maior número de componentes e composto por sistemas eletromecânicos apresentou uma confiabilidade sensivelmente inferior se comparado à sistemas eletrônicos.

Em posse da confiabilidade do sistema como um todo foi realizado o cálculo para obtenção da taxa de falha do conjunto operando como sistema de confiabilidade. Para o sistema

eletrônico foi obtida uma taxa de falha de 0,00267 falhas por hora. Para o sistema eletromecânico esse valor foi de 0,01432 falhas por hora. Os detalhamentos de cada sistema são apresentados nos Apêndices D e E, sendo que o sistema complexo de indicação de quantidade de combustível das aeronaves eletromecânicas pode ser observado no Apêndice F.

Com as taxas de falhas do sistema, e tomando como referência à Equação 11, foi possível obter a expectativa de disponibilidade inerente para as aeronaves eletromecânicas e eletrônicas. Além da taxa de falha foi necessário elencar para os cálculos uma referência para o tempo total T e o tempo médio de manutenção corretiva t_c .

Para T foi definido a média de horas de voo voadas entre os anos de 2015 a 2020 para a frota de aeronaves Caravan da FAB, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Horas de voo projeto C-98 do ano de 2015 a 2020

Anos	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Horas de voo	8250	5806	8890	10491	9957	10452
Média	8874,33					

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2022)

Para t_c foi verificado a mediana entre três mil dados aleatórios variando de uma a oito horas, chegando ao valor de referência de cinco horas para solução das falhas. Em posse desses parâmetros foi calculada A_i para os sistemas. Foi identificado que, para um ciclo de 8974,33, o sistema eletromecânico permaneceria um total de 642,57 horas em atividades de manutenção corretiva, ou seja, não estando em estado de prontidão. Para o sistema eletrônico o valor foi de 119,83 horas, para as mesmas 8974,33 horas de referência. Os dados citados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados para cálculo da disponibilidade dos sistemas em horas

Eletrônico	Tempo total ciclo	Taxa de falha (λ)	Horas para solução	Ct	Ai
	8974,33	0,01432	5,00	642,57	92,84%
Eletrônico	Tempo total ciclo	Taxa de falha (λ)	Horas para solução	Ct	Ai
	8974,33	0,00267	5,00	119,83	98,66%

Fonte: O autor

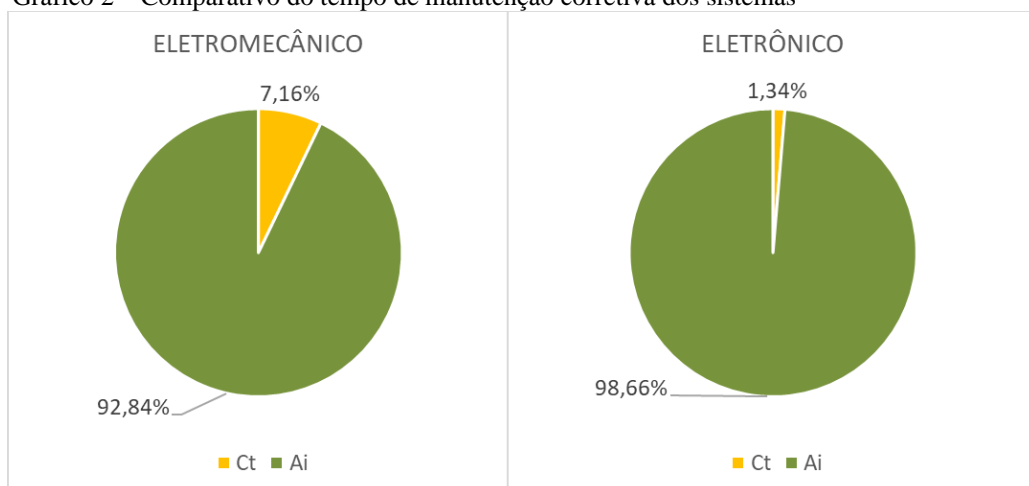
Considerando a Prontidão dos equipamentos como uma probabilidade de operação sem falhas por um determinado período, ou seja, sua probabilidade de estar disponível, com os dados apresentados na Tabela 3 foi possível identificar, com base nas métricas utilizadas, o impacto do sistema de aviônicos dos sistemas eletromecânicos e eletrônicos na prontidão das aeronaves.

Com base nos dados apresentados, primeiramente foi verificado em forma de porcentagem o impacto do sistema de aviônicos eletromecânicos na prontidão das aeronaves. Considerando um tempo total de 8974,33 horas e a expectativa do tempo em manutenção corretiva para a frota de aeronaves eletromecânicas de 642,57 horas, podemos afirmar que a confiabilidade dos sistemas de aviônicos eletromecânicos apresentou um impacto negativo de 7,16% na prontidão da frota de aeronaves Caravan eletromecânicas.

Para o sistema de aviônicos eletrônicos a expectativa do tempo em manutenção corretiva para a frota foi de 119,83 horas, ou seja, projetando um impacto negativo de 1,34% na prontidão das aeronaves Caravan eletrônicas. Novamente a análise demonstra que as características esperadas para sistemas eletrônicos, como menor taxa de falha e maior confiabilidade, estão presentes nas aeronaves C-98 com sistema de aviônicos Garmin 1000. Ainda, além da problemática relacionada a quantidade de partes dentro do sistema, alguns componentes eletromecânicos apresentaram confiabilidade significativamente baixa.

A confiabilidade do sistema de aviônicos eletromecânico promoveu um impacto negativo de 7,16%, sendo assim, para as premissas elencadas nessa pesquisa, um grupo de aeronaves operando com esse sistema teria uma expectativa de pronto emprego de, no máximo, 92,84%. Em contrapartida, a confiabilidade do sistema eletrônico apresentou um impacto negativo de apenas 1,34%, com isso as aeronaves de sistema eletrônicos poderiam chegar a patamares de prontidão de até 98,66%. O Gráfico 2 apresenta, respectivamente, os impactos de cada sistema de aviônicos na prontidão das frotas eletromecânica e eletrônica.

Gráfico 2 – Comparativo do tempo de manutenção corretiva dos sistemas



Fonte: O autor

Itens eletrônicos tem características construtivas que favorecem a alta confiabilidade devido a sua diminuta expectativa de taxa de falhas. Essa característica se confirmou nos

estudos apresentados nesse trabalho, ao demonstrar probabilisticamente que a aplicação de um sistema eletrônico em um grupo de aeronaves pode favorecer na redução em pouco mais de cinco vezes o impacto em manutenções corretivas nesse grupo de componentes. Cabe ressaltar que, para obter ganhos na grandeza de pouco mais de cinco vezes entre a prontidão dos sistemas foi necessário promover um incremento de menor vulto na confiabilidade, em aproximadamente três vezes na relação entre sistemas.

Um fator de cunho interessante foi que, considerando o fato do tempo T não ser significativo para o resultado dos cálculos, tendo em vista que ele pode ser matematicamente suprimido na Equação 11, conforme demonstrado no Apêndice G, os valores de impacto encontrados também podem ser classificados como uma taxa de manutenção corretiva, ou seja, uma porcentagem média de tempo que o sistema deverá executar de atividade corretiva para um certo período de utilização. Com esse valor de referência é possível projetar modelagens de operação para que sejam realizadas simulações que projetem a resultados próximos da realidade para esses sistemas.

Em resumo, considerando inquietação que levou a busca desse conhecimento, em que medida o uso de sistemas de indicação eletrônicos do tipo *glass cockpit* nas aeronaves é eficaz para melhorias no nível de prontidão da frota de C-98, em relação as aeronaves com sistemas eletromecânicos, podemos afirmar que o sistema de eletrônicos é capaz de promover incrementos de até 5,82% na disponibilidade, em comparação a sistemas eletromecânicos, sendo essa melhoria relacionada diretamente com a confiabilidade dos componentes aplicados.

Considerando a disponibilidade inerente como um modelo de sistema no qual o suporte ocorre sem atrasos logísticos ou administrativos, num ambiente de operação real, onde problemas de falta de peças, equipamentos e mão de obra estão presentes, espera-se que esse ganho seja potencializado, tendo em vista que com uma menor taxa de falhas e conseqüentemente menos itens passando por processos de manutenção, atrasos em processos deverão ocorrer de forma menos significativa. Ainda, sistemas eletrônicos mais modernos possuem uma cadeia de suporte mais atualizada, o que promoveria ganhos em termos de eficiência na gestão de cadeia de suprimentos desses componentes.

5 CONCLUSÃO

Com a frequente evolução tecnológica presente nos meios aeroespaciais, sistemas com maior confiabilidade têm sido aplicados nas aeronaves, promovendo assim maior segurança e

menores custos aos operadores. Entre essas inovações está a substituição de sistema de aviônicos eletromecânicos por sistemas eletrônicos, também conhecidos como *glass flight deck*, ou *glass cockpit*.

A Cessna, fabricante das aeronaves C-98 Caravan, aplicou as melhorias citadas em suas aeronaves ao implementar o sistema *Glass Cockpit* Garmin 1000 no ano de 2008. A FAB adquiriu treze aeronaves com esses equipamentos, que passaram então a operar em conjunto com as dezessete adquiridas anteriormente, e que utilizam sistemas de aviônicos eletromecânicos. Por operarem em conjunto e sem qualquer separação sistêmica dentro dos indicadores da FAB, os ganhos esperados na operação desses equipamentos mais modernos não podem ser observados sem análises mais profundas.

Sendo assim, para que os ganhos esperados pudessem ser claramente observados, essa pesquisa propôs-se a analisar em que medida o uso de sistemas de indicação eletrônicos do tipo *glass cockpit* é eficaz em promover melhorias no nível de prontidão do projeto C-98, em relação às aeronaves C-98 com sistemas eletromecânicos, e com isso obter maior entendimento do impacto que essas aeronaves promovem dentro da frota, em especial aos parâmetros relacionados ao nível de prontidão.

Para atingir esse objetivo foram elencadas as teorias relacionadas ao assunto proposto. Primeiramente, foi dissertado sobre os conceitos do termo prontidão apresentados pelos teóricos, no qual a prontidão se mostra uma grandeza estabelecida por meio de duas variáveis, sendo elas o tempo e eficiência. Ainda, quando tratado sobre a prontidão dos equipamentos, essa se relaciona com a probabilidade de um equipamento, quando acionado, estar em condições de cumprir a missão designada, tendo como pilares a confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade.

Após, foram elencados os conceitos de confiabilidade, que é a probabilidade de um equipamento ou sistema operar satisfatoriamente por um determinado período. Tendo como base a taxa de falha, análises de confiabilidade permitem determinar dentro de um certo tempo quantas vezes aproximadamente um equipamento deverá apresentar uma falha.

Com os conhecimentos de confiabilidade entendidos foi apresentada sua relação com a disponibilidade, sendo essa a probabilidade de um sistema estar pronto quando necessário e capaz de cumprir a missão satisfatoriamente. Por fim, foi apresentada a relação entre a confiabilidade e disponibilidade, tendo em vista sua relação direta com a taxa de falhas.

Com base nas teorias apresentadas, foi realizada uma revisão bibliográfica das definições de prontidão da FAB, dos autores e sua relação com a confiabilidade e

disponibilidade. Posteriormente, com a utilização da base de dados de recolhimento e horas de voo do SILOMS, foram aplicados os cálculos necessários para identificar a confiabilidade dos sistemas eletrônico e eletromecânico e, conseqüentemente, suas taxas de falha.

Em posse desses dados, e após o estabelecimento de premissas para obtenção das constantes tempo total e tempo médio de manutenção corretiva, foi possível identificar, em termos de porcentagem, a quantidade de tempo que cada grupo de aeronaves permaneceria em atividades de manutenção corretiva e, conseqüentemente, impedidas de cumprir missões.

Quanto a prontidão, foi observado que os conceitos apresentados pelas Forças Armadas como um todo, da Força Aérea Brasileira e dos autores citados seguem alinhados. Quanto a prontidão dos meios, o Glossário das Forças Armadas mantém seu alinhamento, todavia, a FAB não apresenta em sua doutrina denominações específicas para esse termo, bem como métricas específicas de análise.

Avançando na pesquisa, concluído o levantamento da confiabilidade dos componentes foi observado que o sistema eletrônico, além de apresentar número menor de componentes, apresentou melhores taxas em relação ao sistema eletromecânico. Com isso, em termos gerais, o sistema eletrônico apresentou uma confiabilidade 3,2 vezes maior que o sistema eletromecânico, chegando a 76,56%.

Em termos de disponibilidade, os resultados obtidos mostraram que um grupo de aeronaves operando com sistemas eletrônicos teriam impactos em termos de manutenção corretiva aproximadamente cinco vezes menor em relação ao grupo de aeronaves com sistemas eletromecânicos, tendo em vista que apenas 1,34% do tempo de referência seria utilizado para manutenções corretivas, enquanto para o grupo de aeronaves eletromecânicas esse valor chegaria a pelo menos 7,16%.

Em posse dos dados apresentados foi possível atingir o objetivo dessa pesquisa e inferir que sistemas de aviônicos eletrônicos foram eficazes em promover melhorias da prontidão das aeronaves C-98 da FAB na medida que, para cada hora de operação a frota sofre um impacto de 1,34% em atividades corretivas, reduzindo em torno de cinco vezes o tempo de parada para manutenção não programada, se comparado a uma frota que operasse apenas sistemas de aviônicos eletromecânicos.

Com isso, foi possível confirmar os conhecimentos apresentados de que sistemas eletrônicos, seja por suas características construtivas ou pela necessidade reduzida na quantidade de componentes, promovem uma confiabilidade superior em relação a sistemas eletromecânicos.

Os resultados obtidos contribuem de forma significativa para a Força Aérea, tendo em vista que o tema abordado, focado na área de manutenção centrada em confiabilidade, é a base para realização de análises mais amplas pelos grandes comandos, em especial pelo COMGAP e DIRMAB, no sentido de manter, modificar, substituir ou desativar uma frota.

Diante de tal contexto, e restringindo à análise dos dados apresentados, é possível afirmar que a frota de C-98 da FAB possui capacidade de ganhos de 5,82% em termos de prontidão, caso operasse plenamente com sistemas de aviônicos eletrônicos, o que reforça a importância na execução de análises semelhantes a efetuada, referentes ao ciclo de vida das aeronaves, para a manutenção da operacionalidade da FAB.

Como limitação, não foi verificado pelo pesquisador se houve a confirmação da falha do material recolhido, todavia, devido ao fato de que, independentemente de ter sido a falha confirmada ou não, o componente foi retirado da aeronave, todas os recolhimentos foram considerados como falhas para essa pesquisa, não tendo impactado nos resultados, tendo em vista que mesmo as falhas não confirmadas geraram recolhimento e, conseqüentemente, a parada da aeronave para manutenção corretiva para substituição do componente.

Por fim, e como segunda limitação, não foram realizadas pesquisas relativas a modo de falha por erros de manutenção ou fadiga, sendo assim, análises por meio da distribuição de Beta de Weibull, em especial para os *outliers* encontrados, pode ser de interesse para pesquisas futuras dentro desse tema.

Ainda como sugestão para futuros trabalhos, a extrapolação dos dados por meio de modelagem e simulação poderiam apresentar parâmetros ainda mais realísticos para o impacto apresentado na prontidão, tendo em vista que poderiam ser inseridos parâmetros para os atrasos logísticos e administrativos relacionados a processos de obtenção, transporte e disponibilidade de mão de obra, ou ainda, a análise de custos de ciclo de vida para frotas com sistemas mais modernos, onde espera-se maior confiabilidade, menor taxa de falhas e, conseqüentemente menores atividades de manutenção que demandariam menores custos dentro do ciclo de vida.

REFERÊNCIAS

- BLANCHARD, Benjamin S. **Logistics Engineering and Management**. 6. ed. Harlow: Pearson, 2014.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Portaria nº 2.102/GC3, de 18 de dezembro de 2018**. Aprova a reedição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2018 - 2027. (PCA 11-47). Brasília, DF, 2018.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando Geral de Apoio. **SILOMS 11G: Controle de utilização**. Rio de Janeiro. Disponível em: https://siloms11g.siloms.intraer/forms/frmservlet?config=login_unico. Acesso em: 10 mar. 2022.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Portaria nº 9/GAP/MD, de 13 de janeiro de 2016**. Aprova a o Glossário das Forças Armadas – MD35-G-01 (5ª Edição/2015). Brasília, DF, 2016.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **Portaria nº 278/GC3/MD, de 21 de junho de 2012**. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira – DCA 1-1. Brasília, DF, 2012.
- ESTADOS UNIDOS DA AMERICA. Department of Defense. **DoD guide for achieving reliability, availability, and maintainability**. Washington, DC: DoD, 2005. Disponível em: [https://www.acqnotes.com/Attachments/DoD%20Reliability%20Availability%20and%20Maintainability%20\(RAM\)%20Guide.pdf](https://www.acqnotes.com/Attachments/DoD%20Reliability%20Availability%20and%20Maintainability%20(RAM)%20Guide.pdf). Acesso em: 03 fev. 2022.
- ESTADOS UNIDOS DA AMERICA. Department of Defense. Defense Standardization Program Office. **Diminishing manufacturing sources and material shortages: A Guidebook of Best Practices for Implementing a Robust DMSMS Management Program**. Fort Belvoir: DSPO, 2016. Disponível em: https://www.dla.mil/Portals/104/Documents/LandAndMaritime/V/VA/PSMC/LM_SD22FINAL_151030.PDF. Acesso em: 19 fev. 2022.
- DHILLON, Balbir S. **Engineering Maintainability: how to design for reliability and easy maintenance**. Houston: Gulf Publishing Company, 1999.
- EBELING, Charles E. **An introduction to reliability and maintainability engineering**. 3. ed. Long Grove: Waveland Pres, 2019.
- LAURIA, Wilson Mendes. **Ser Expedicionário: um desafio conjunto**. Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 2017.
- MARINELLI, Igor. Entenda o que é curva da banheira. **Revista Manutenção**, 11 dez. 2022. Disponível em: <https://www.revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/manutencao/entenda-o-que-e-curva-da-banheira.html>. Acesso em: 09 abr. 2022.
- MEEKER, Willian Q.; ESCOBAR, Luis A. **Statistical methods for reliability data**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

MOIR, Ian; SEABRIDGE, Allan G. **Civil Avionics Systems**. London: Professional Engineering Publishing, 2003.

PINHEIRO, João Ismael D. *et al.* **Probabilidade e estatística**: quantificando a incerteza. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

VIEIRA, Sonia. **Estatística básica**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

GLOSSÁRIO

Glass Flight Deck ou Glass Cockpit: Sistema de indicadores com display eletrônicos utilizados nas cabines de aeronaves, normalmente telas de LCD, diferente dos antigos mostradores analógicos.

Manutenabilidade: característica intrínseca ao item ou sistema que, seguindo os procedimentos de manutenção prescritos, possui capacidade de ser recuperado ou mantido em condições de executar suas funções requeridas de maneira eficiente e eficaz.

Falha: Defeito ou condição anormal de um item ou sistema, impedindo seu bom funcionamento.

Modo de Falha: é referente à característica da falha, a circunstância ou forma que o componente em estudo deixa de executar a sua função, deixando de apresentar o resultado desejado ou esperado.

Outlier: São dados que diferem drasticamente do conjunto, fugindo da normalidade e podendo causar anomalias nos resultados obtidos por meio de algoritmos e sistemas de análise.

Sistema: Conjunto de elementos que possuem alguma relação.

Eletromecânico: Componente que combina processos elétricos e mecânicos, utilizando-se da movimentação de partes móveis.

Eletrônico: Componentes que utilizam a transmissão da corrente elétrica por meio de um condutor ou semicondutor dentro da estrutura de um circuito eletrônico para desempenhar funções predefinidas de fábrica.

APÊNDICE A – Part numbers dos sistemas de aviônicos

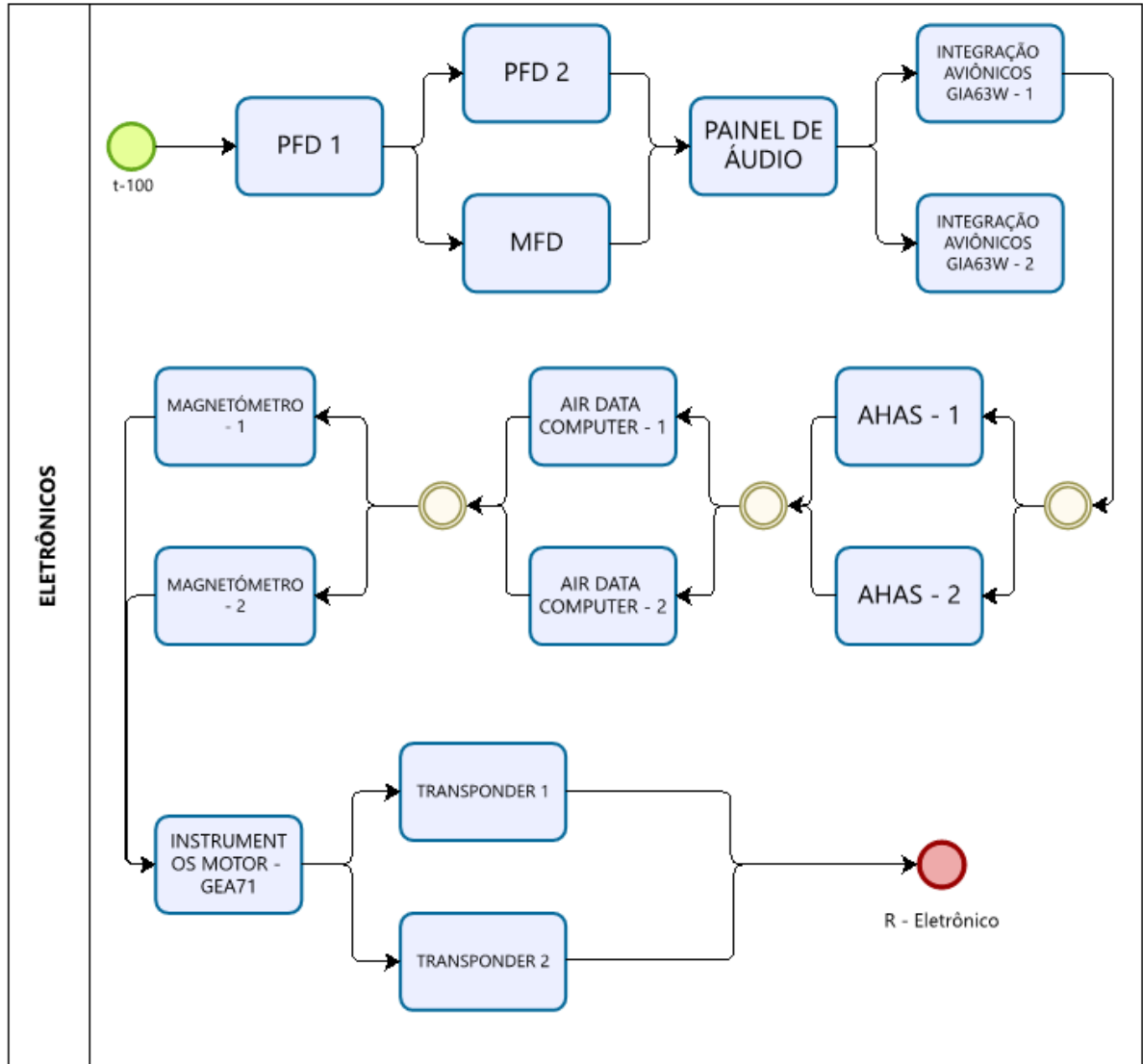
ELETRÔNICO

SISTEMA	PN	NOMENCLATURA
GDU1040A	011-00916-10	DISPLAY UNIT,FLIGHT INFORMATION
GMA1347	011-00809-00	AUDIO PANEL GMA-1347
GIA63W	011-01105-01	INTEGRATED AVIONICS UNIT GIA63W
GRS77	011-00868-10	UNIT-AHRS
GDC 74A	011-00882-10	COMPUTER,AIR DATA
GMU 44	011-00870-00	MAGNETOMETER GMU 44
GEA 71	011-00831-00	GEA-71 ENGINE INTERFACE
GTX 33	011-00779-10	TRANSPONDER,RADIO GTX33

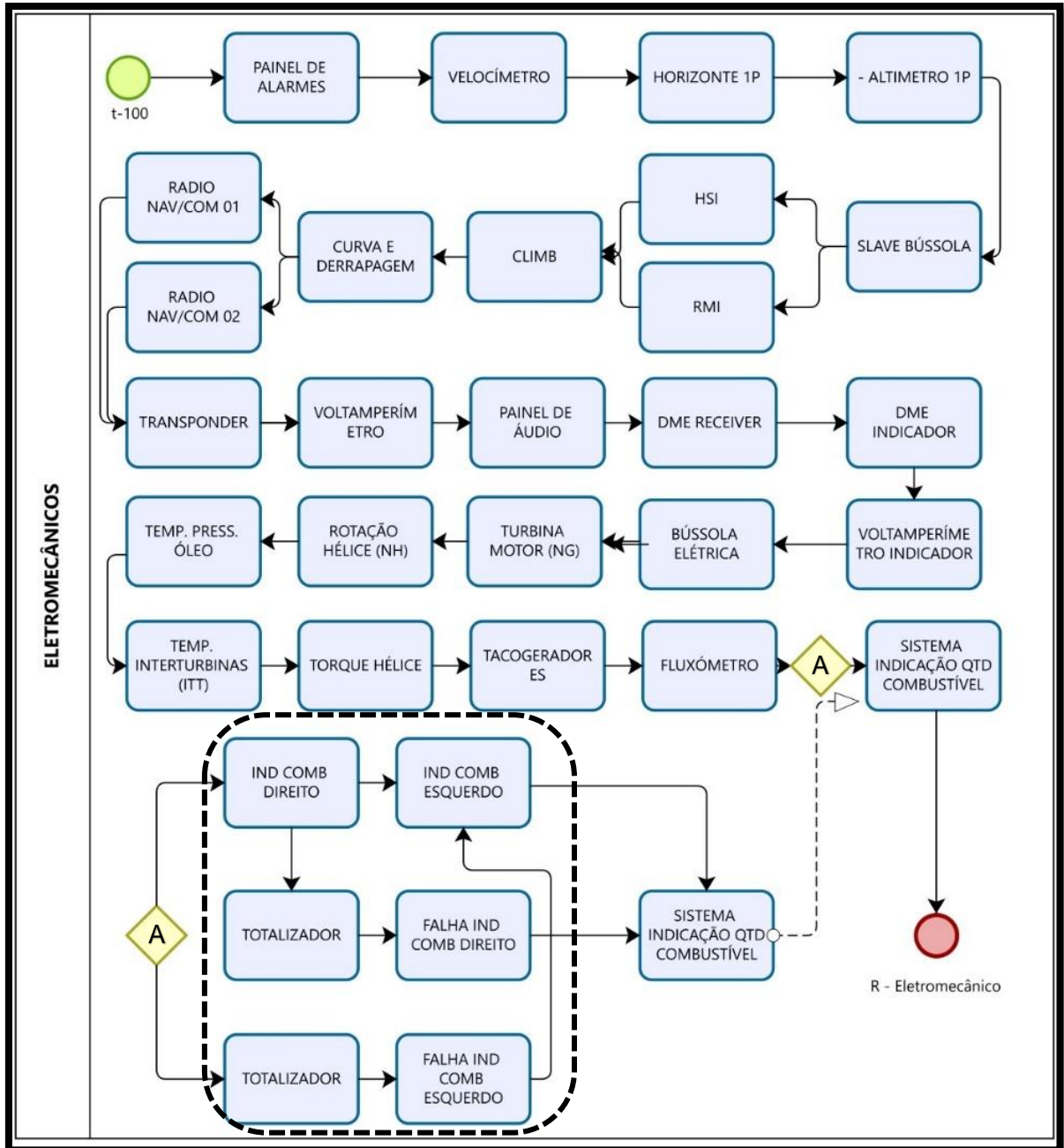
ELETROMECAÂNICO

SISTEMA	PN	NOMENCLATURA
PAINEL DE ALARMES	2670104-2	ANNUNCIATOR PANEL
VELOCIMETRO 1P	C661065-0237	AIRSPPEED INDICATOR
HORIZONTE 1P	060-0017-00	FLIGHT DIR HOR
ALTIMETRO 1P	066-03064-0005	ENCODING ALTIM - KEA130A
HSI 1P	071-1242-06	SLAVING ACCESS,SPEC
	066-3046-11	HSI
CLIMB	C661035-0101	INDICATOR,VERTICAL VELOCITY
CURVA DERRAPAGEM 1P	C661003-0506	TURN COORD
RMI 1P	066-3038-00	INDICATOR,RADIO-MAGNETIC COMPASS
	066-3038-01	RMI
PAINEL AUDIO	066-1055-00	AUDIO CONTROL PANEL
NAV/COM	069-01033-0101	RECEIVER-TRANSMITTER,RADIO - KX165A
	069-1025-25	RECEIVER-TRANSMITTER,RADIO KX165
DME	066-1070-01	TRANSCEIVER DME (KN63)
	066-1069-00	INDICATOR, (KDI572)
TRANSPONDER	066-01141-0101	RECEIVER,RADIO
	066-01141-5101	RECEIVER-TRANSMITTER,RADIO (KT71)
VOLT INDICADOR	C662504-0101	GAGE VOLT AMME
BUSSOLA ELETRICA	071-1052-00	TRANSMITTER,INDUCTION COMPASS
ROTAÇÃO TURBINA MOTOR	2606013-1	INDICATOR-PERCENT RPM
ROTAÇÃO HÉLICE	2606014-1	INDICATOR, PROPELLER, RPM
TEMPERATURA E PRESSÃO ÓLEO	2606015-4	IND OIL TEMP/P
TEMPERATURA INTER TURBINAS	2606012-1	INDICATOR-INTER-TURBINE TEMP
TORQUE DA HÉLICE	2606011-3	TORQUE INDICATOR MECHANICAL
TACOGERADORES PARA INSTRUMENTOS	22A703	GENERETOR/TACHOMETER
FLUXO COMBUSTIVEL	9910338-8	INDICATOR,FUEL FLOW
TOTALIZADOR COMBUSTIVEL	9910338-4	FUEL TOTALIZER INDICATOR
QUANTIDADE COMBUSTÍVEL	C662041-0102	FUEL QUANT IND

APÊNDICE B – Interconexões do sistema de aviônicos eletrônicos

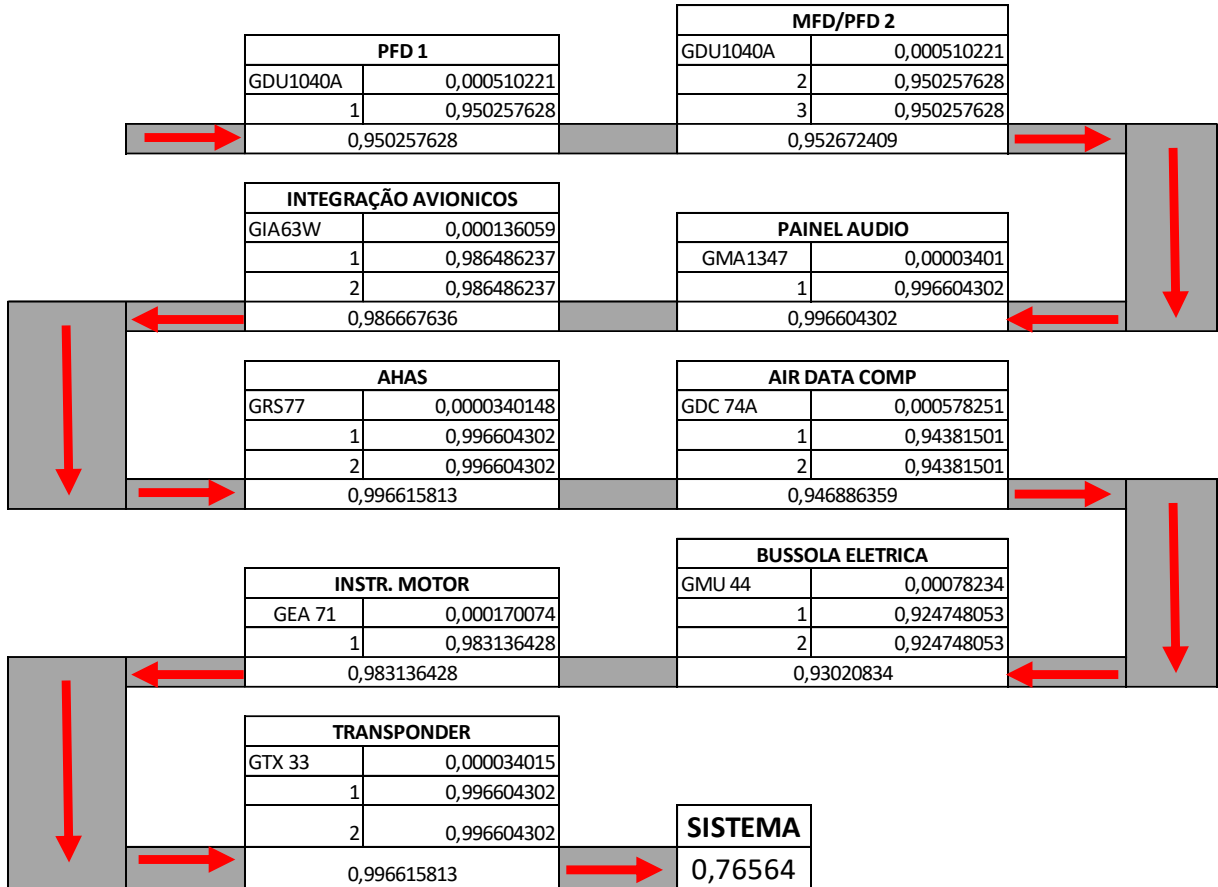


APÊNDICE C – Interconexões do sistema de aviônicos eletromecânicos



APÊNDICE D – Sistema de confiabilidade para as aeronaves eletrônicas

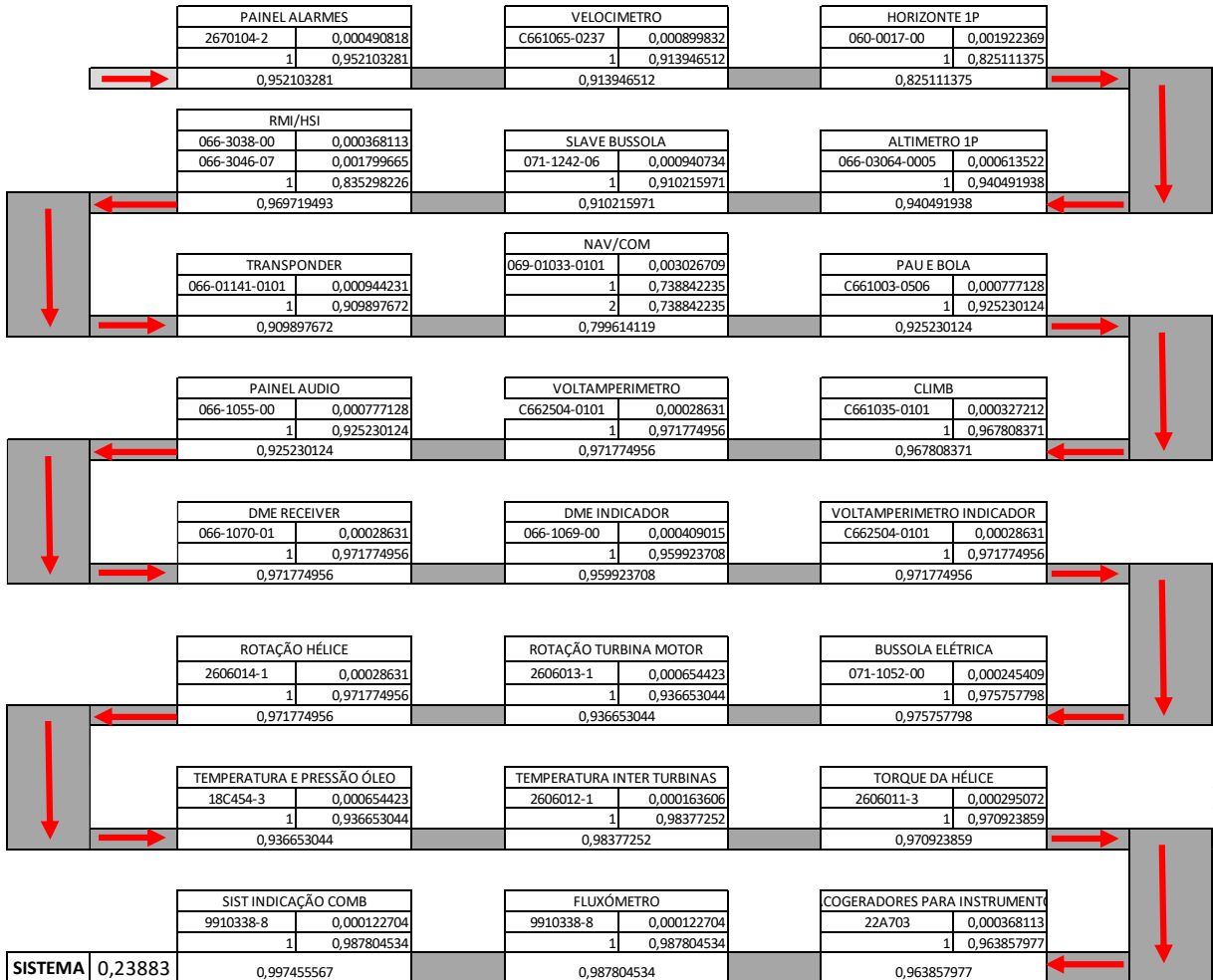
<i>t</i>
100



λ	<i>t</i>
0,0026704	100

APÊNDICE E – Sistema de confiabilidade para as aeronaves eletromecânicas

<i>t</i>	100
----------	-----



λ	<i>t</i>
0,014320	100

APÊNDICE F – Sistema eletromecânico de indicação de quantidade de combustível

<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">IND COMB DIR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C662041-0102</td> <td>0,0004090</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,959923708</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,959923708</td> </tr> </tbody> </table>	IND COMB DIR		C662041-0102	0,0004090	1	0,959923708	0,959923708			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">IND COMB ESQ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C662041-0102</td> <td>0,000409015</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,959923708</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,959923708</td> </tr> </tbody> </table>	IND COMB ESQ		C662041-0102	0,000409015	1	0,959923708	0,959923708		0,921453525
IND COMB DIR																			
C662041-0102	0,0004090																		
1	0,959923708																		
0,959923708																			
IND COMB ESQ																			
C662041-0102	0,000409015																		
1	0,959923708																		
0,959923708																			
+																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TOTALIZADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9910338-4</td> <td>0,000122704</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,987804534</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,987804534</td> </tr> </tbody> </table>	TOTALIZADOR		9910338-4	0,000122704	1	0,987804534	0,987804534			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">IND COMB DIR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C662041-0102</td> <td>0,000409015</td> </tr> <tr> <td>F(DIR)</td> <td>0,040076292</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,040076292</td> </tr> </tbody> </table>	IND COMB DIR		C662041-0102	0,000409015	F(DIR)	0,040076292	0,040076292		0,038001021
TOTALIZADOR																			
9910338-4	0,000122704																		
1	0,987804534																		
0,987804534																			
IND COMB DIR																			
C662041-0102	0,000409015																		
F(DIR)	0,040076292																		
0,040076292																			
+																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TOTALIZADOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9910338-4</td> <td>0,000122704</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,987804534</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,987804534</td> </tr> </tbody> </table>	TOTALIZADOR		9910338-4	0,000122704	1	0,987804534	0,987804534			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">IND COMB ESQ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C662041-0102</td> <td>0,000409015</td> </tr> <tr> <td>F(ESQ)</td> <td>0,040076292</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">0,040076292</td> </tr> </tbody> </table>	IND COMB ESQ		C662041-0102	0,000409015	F(ESQ)	0,040076292	0,040076292		0,038001021
TOTALIZADOR																			
9910338-4	0,000122704																		
1	0,987804534																		
0,987804534																			
IND COMB ESQ																			
C662041-0102	0,000409015																		
F(ESQ)	0,040076292																		
0,040076292																			
<table border="1" style="margin-left: auto;"> <tr> <td>SISTEMA IND COMB</td> <td style="font-size: 1.2em;">0,99746</td> </tr> </table>				SISTEMA IND COMB	0,99746														
SISTEMA IND COMB	0,99746																		

APÊNDICE G – Equação de disponibilidade inerente

Apesar de sua significância em termos de percepção do leitor quanto a quantidade de horas em atividade corretiva, o tempo T para análises probabilísticas de disponibilidade inerente não é significativo, tendo em vista que seus valores são anulados durante o processo de cálculo, conforme pode ser observado na notação matemática abaixo tendo como base a Equação 11:

$$A_i = \frac{T - [t_c \times (T \times \lambda)]}{T}$$

$$A_i = \frac{T}{T} - \frac{[t_c \times (T \times \lambda)]}{T}$$

$$A_i = \frac{T}{T} - \frac{[t_c \times (T \times \lambda)]}{T}$$

$$A_i = 1 - \frac{[t_c \times T \times \lambda]}{T}$$

$$A_i = 1 - \frac{[t_c \times T \times \lambda]}{T}$$

$$A_i = 1 - (t_c \times \lambda)$$

ANEXO A – Interconexões do sistema de aviônicos para Garmin 1000

