

Taubaté, 12/09/15 a 28/11/15

## **TTEM 011/15**

### **ESTUDO DO IMPACTO DOS ENSAIOS EM CABLAGEM AERONÁUTICA NA AERONAVEGABILIDADE**

#### **THE STUDY OF WIRING THE IMPACT ON AIRCRAFT AIRWORTHINESS**

Signatários:

- Ricardo Boaro Charantola<sup>1</sup>
- Prof. Dr. José Rubens de Camargo – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. Francisco José Grandinetti – Universidade de Taubaté/FEG-UNESP
- Prof. Dr. Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia – Universidade de Taubaté
- Prof. Dr. José Rui de Camargo – Universidade de Taubaté

Finalidade: Apresentar relação dos ensaios em cablagem aeronáutica e a ligação com aeronavegabilidade

Duração: 3 meses

1 – Aluno do curso de Especialização em Engenharia Aeronáutica da Universidade de Taubaté (UNITAU/SP) – Ricardo\_charantola@hotmail.com

Palavras chave: Ensaios. Cablagem. Aeronavegabilidade.

**Resumo.** A cablagem de uma aeronave se trata de um item de extrema importância em uma aeronave, principalmente pelo fato de ser o meio de ligação dos sistemas da aeronave com os dispositivos de atuação e sensoriamento, sendo esses acoplados as superfícies de comando da aeronave.

## 1. Introdução

A compreensão quanto às funcionalidades de um sistema aeronáutico está diretamente ligado aos requisitos exigidos para a aeronavegabilidade, quanto a isso os sistemas atuais, possuem grande complexidade quanto a sua arquitetura, figura 1.

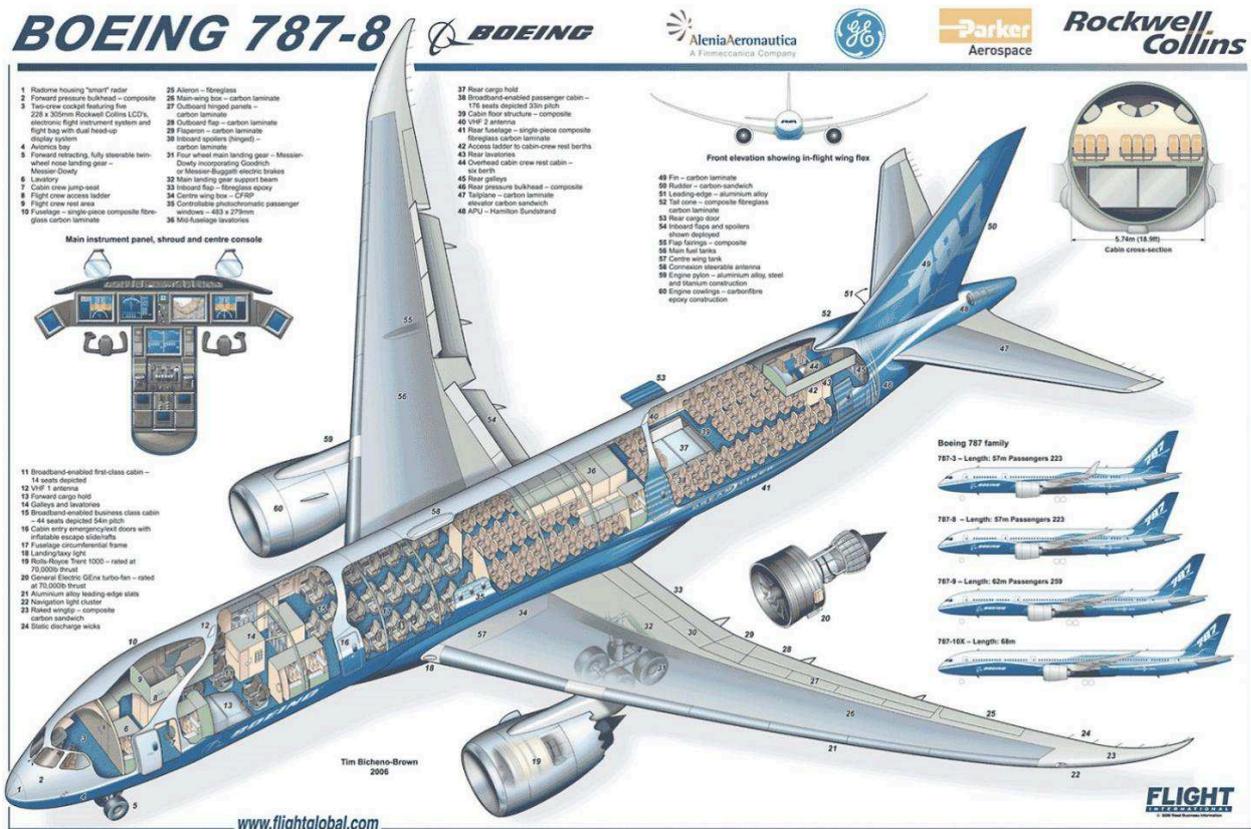


Figura 1 – Fuselagem de uma aeronave Boeing 787-8.

Com as evoluções recentes dos sistemas aviônicos, foi possível criar sistemas interligados, onde por meio de sistemas microprocessados se faz a gerencia da comunicação entre os sistemas.

Com o advento das topologias de sistemas interligados foi possível alcançar com segurança e confiabilidade os requisitos de aeronavegabilidade, tais requisitos estão correlacionados aos sistemas autônomos das aeronaves, onde esses sistemas são todos automatizados e possuem extensas quantidades de interligações via cabos de conexão por toda fuselagem da aeronave, figura 2.

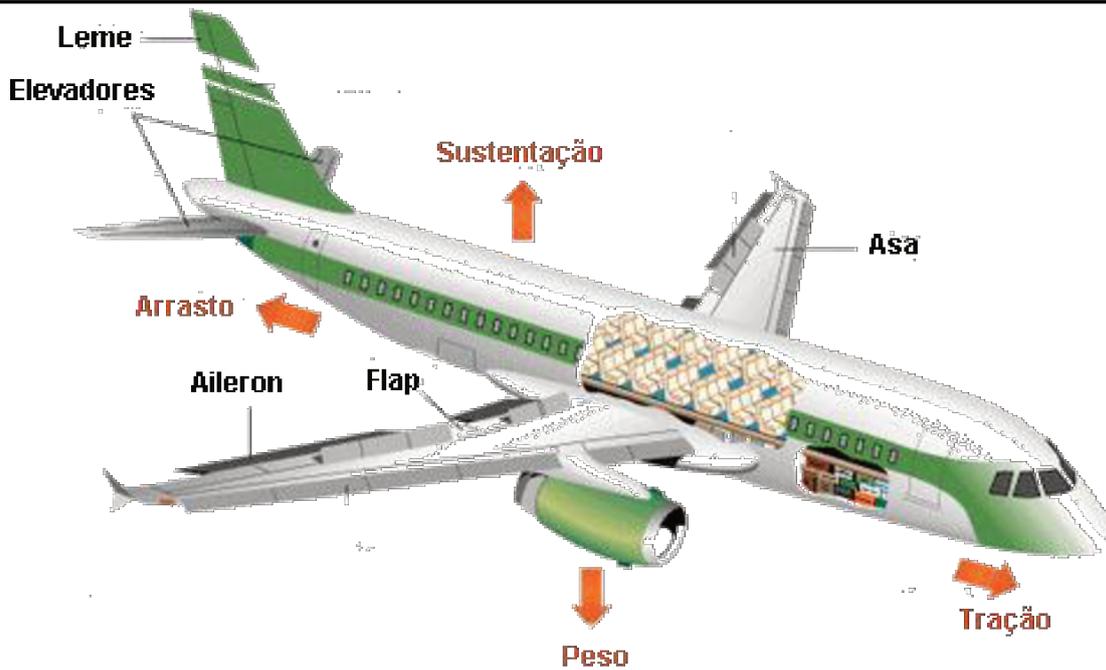


Figura 2 – Superfícies de comando.

Todavia por se tratar de sistemas interligados, a cablagem é, portanto dentro dessa topologia o item de extrema importância, pois se trata do meio pelo qual as informações são transmitidas e recebidas.

O cuidado quanto à instalação e manutenção da cablagem aeronáutica é imprescindível, porém não é aceitável a aplicação de métodos empíricos para se testar a sua eficácia e eficiência, por isso a aplicação de ensaios não destrutivos para se averiguar a qualidade quanto à cablagem em toda sua extensão.

Com o advento do sistema *fly-by-wire* (voo por fios), se fez necessário o advento de novas técnicas para se testar e qualificar um sistema aviônico, com isso os meios pelos quais são utilizados para se fazer a inspeção de cablagens deve garantir o correto funcionamento nesses sistemas de alta complexidade. Onde esse sistema que vai ser composto além de condutores (cablagem), será composto por uma série de placas eletrônicas, que por sua vez são compostas por uma diversidade de componentes de processamento e atuação.

## 2. Funcionamento dos Sistemas Fly-by-wire de uma Aeronave

No desenvolvimento de novas tecnologias, a área aeronáutica se destaca pela grande capacidade de inovação e de desenvolvimento de novos conceitos, principalmente em se tratando dos aspectos relacionados ao peso que aeronave possui em sua configuração final.

O sistema Fly-by-wire foi desenvolvido com intuito de gerar as aeronaves um melhor rendimento quanto à questão de peso, pois ao ponto que substituiu-se os sistemas com cabos de aço com um peso relativamente maior que em relação a condutores elétricos.

A integridade quanto aos sistemas que compõem o Fly-by-wire (Figuras 3 a 6) devem sempre ser levadas em consideração, pois se trata de um sistema com processamento integrado e por sua grande complexidade necessita de muitos critérios críticos para que se possa alcançar a confiabilidade, por se tratar de aplicar em um sistema onde se tinha uma atuação puramente mecânica, por meio de cabos de aços e pequenos auxiliares hidráulicos, por um sistema puramente elétrico, onde a atuação

foi substituída em grande parte por sistemas hidráulicos com acionamentos elétricos, onde as eletroválvulas fazem o controle do sistema, sistemas de atuação com motores elétricos e principalmente nos sistemas de comunicação que cada vez mais foram expostos as influências desses novos equipamentos instalados.

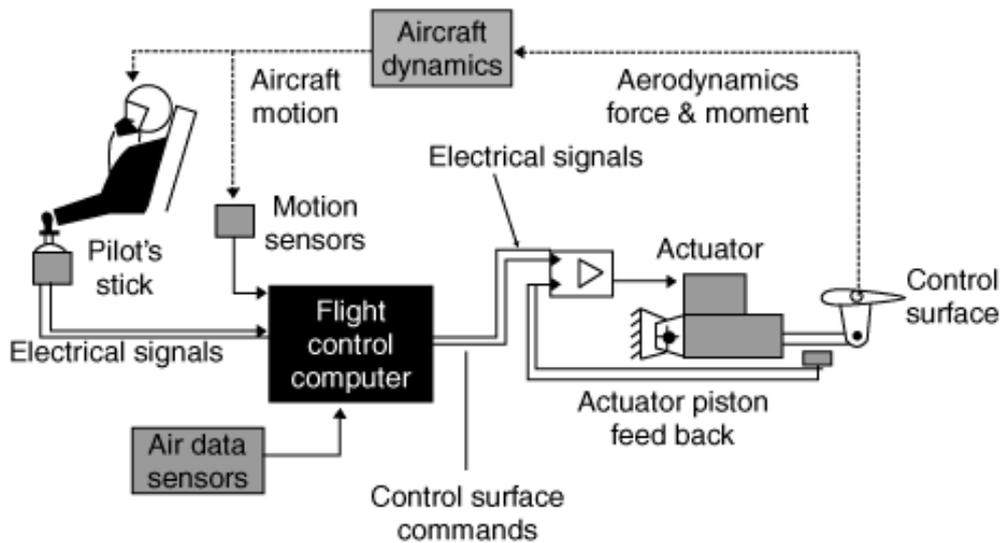


Figura 3: FBW-FCC design  
 Fonte: <http://airguardian.net/projects/fly-by-wire-project> (2014)

O sistema Fly-by-wire transcrito, mostra de maneira geral a forma como o sistema Fly-by-wire funciona com o intuito de se melhorar a forma com que o piloto toma decisões e consegue ter controle sobre a aeronave, esse sistema não é somente uma maneira de se diminuir o impacto do fator peso na aeronave, mas também uma forma de manter o controle das aeronaves em grande parte da sua missão sobre o controle automático, transcrevendo esse sistema uma qualificação alta quanto as atitudes e respostas que as aeronaves possuem. Por isso é que o sistema Fly-by-wire é tratado como uma revolução na aviação, sendo considerada também uma revolução na forma de voar.

Os sistemas de aeronaves que possuem Fly-by-wire tem em sua maioria uma grande parte de sistemas de amortecimento de atitudes que dão a aeronave uma característica de atuação bem estável em relação ao seu controle.

### ⊗ A319/A320/A321 EFCS command principle

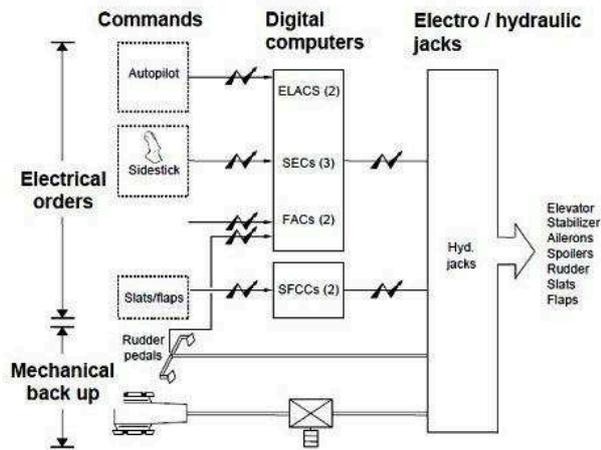


Figura 4: Fly-by-wire Airbus  
 Fonte: <http://www.pmflight.co.uk/airbus-fly-by-wire/> (2014)

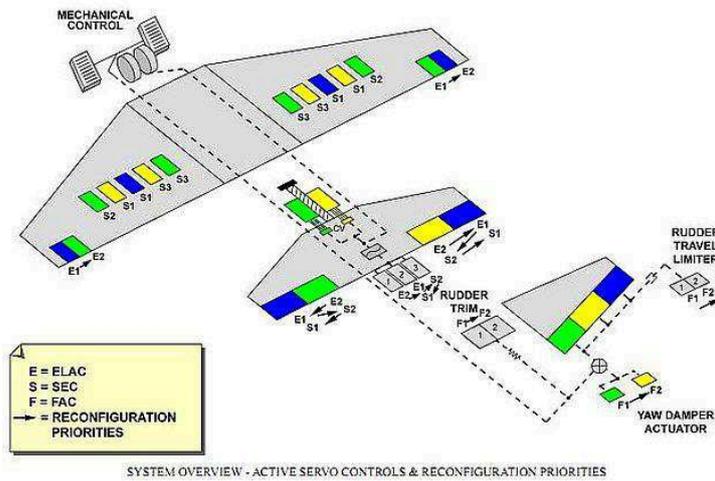


Figura 5: Fly-by-wire Airbus  
 Fonte: <http://www.pmflight.co.uk/airbus-fly-by-wire/> (2014)

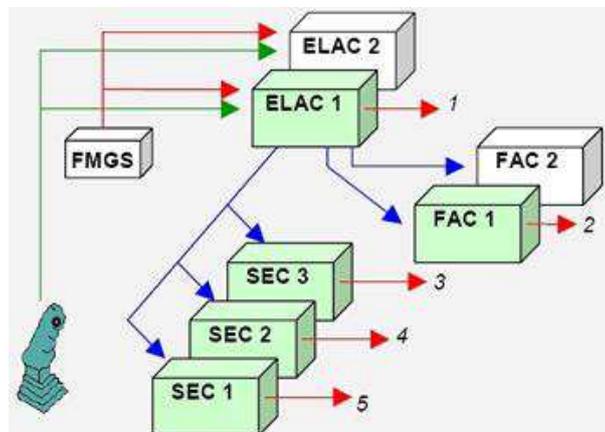


Figura 6: Fly-by-wire Airbus  
 Fonte: <http://www.pmflight.co.uk/airbus-fly-by-wire/> (2014)

No entanto com o advento da tecnologia embarcada em sistema aeronáuticos, é de grande discussão no meio aeronáutico a questão do quão esses sistemas influenciam na pilotagem do avião e nas tomadas de decisão do piloto, figuras 7 e 8.

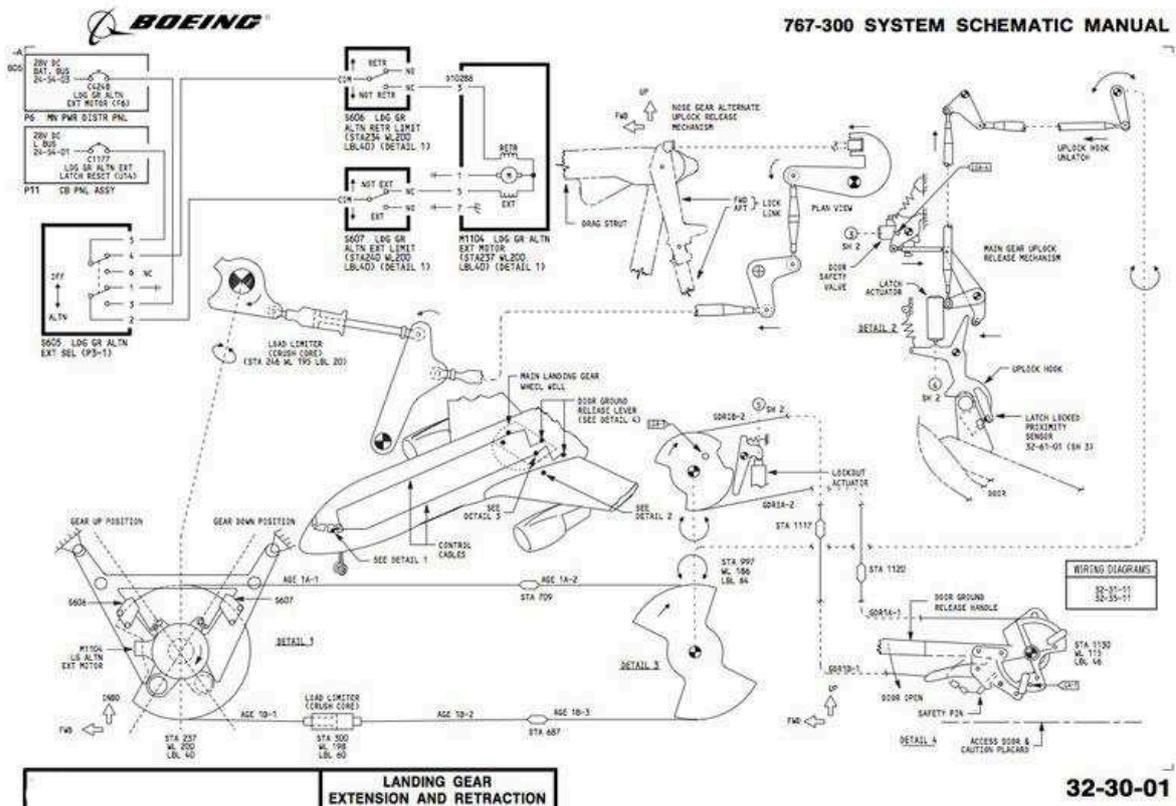


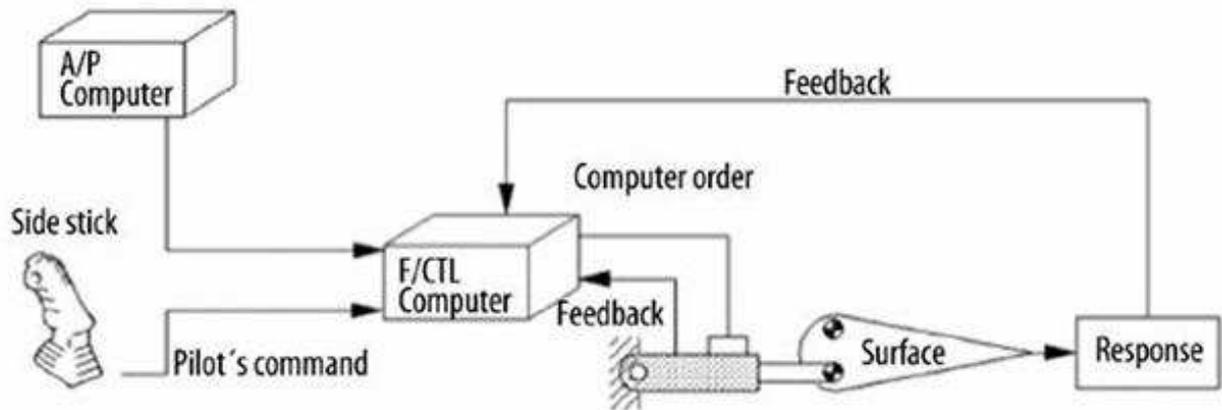
Figura 7 - Sistema Fly-by-wire.

Por isso em meio a essas modificações foi oportuna à evolução conceitual dos meios de inspeção e ensaios para se garantir a confiabilidade e a aeronavegabilidade nas condições de operação com sistema Fly-by-wire. Com o evoluir das discussões foi estabelecido critérios quanto aos requisitos a serem atendidos para se garantir a confiança dos sistemas e a forma com que a aeronave seria tratada quanto a suas atitudes em voo.



Figura 8 - Sistema Fly-by-wire.

A aeronavegabilidade foi aplicada no contexto de implantação da tecnologia Fly-by-wire a área da aeronáutica que mais sofreu quanto às mudanças que foram acarretadas (figura 9). Por isso, para verificação desses sistemas é aplicada as metodologias de ensaios em componentes eletroeletrônicos, porém com os requisitos direcionados a área aeronáutica.



Fonte: Airbus, 2012.

Figura 9 - Sistema Fly-by-wire.

Diante da necessidade de se ter um método qualitativo e quantitativo quanto aos ensaios e inspeções a serem feitas, é possível citar três ensaios mais comuns e de grande valia na aplicação cotidiana em aeronaves, sendo eles, teste de continuidade, isolamento dos atuadores e raios X em placas eletrônicas.

### 3. Metodologia

Diante das influências que os sistemas aviônicos sofrem devido às falhas em conexões entre os condutores elétricos e os sistemas diversos das aeronaves, as influências que sofrem os equipamentos elétricos devido à baixa isolamento ou ainda as falhas em conexões em placas eletrônicas, levam a área de ensaios a uma análise mais integrada quanto a aplicação de novas formas de se lidar com esses novos tipos de sistemas em aeronaves.

Por conta dos fatores de risco a aeronavegabilidade da aeronave é de extrema importância a aplicação de ensaios em cablagem aeronáutica com métodos que deem ao setor de ensaios uma agilidade quanto a qualidade que é feita da inspeção e o quanto pode se confiar nos resultados analisados, figura 10.



Figura 10 – Sistemas de comunicação.

O teste de continuidade dos condutores é o teste que é realizado em condutores para verificação da eficiência da ligação que esse condutor realiza. Por isso deve ser feito por meio do uso de um instrumento chamado multímetro, que é um instrumento comum na área eletroeletrônica, pois se trata de um instrumento com uma grande quantidade de instrumentos, sem o ohmímetro o instrumento indicado para tal medição (CAPUANO, 2007).

O ohmímetro (figura 11) é o equipamento utilizado para analisar os parâmetros de resistência elétrica de um condutor elétrico, onde funciona basicamente pela aplicação da lei de Ohm, onde a resistência se torna proporcional à tensão e a corrente que é exercida em um material por esse equipamento. O ohmímetro possui em suma dois tipos de configuração, uma configuração chamada de ohmímetro série e outra chamada de ohmímetro paralelo (CAPUANO, 2007).

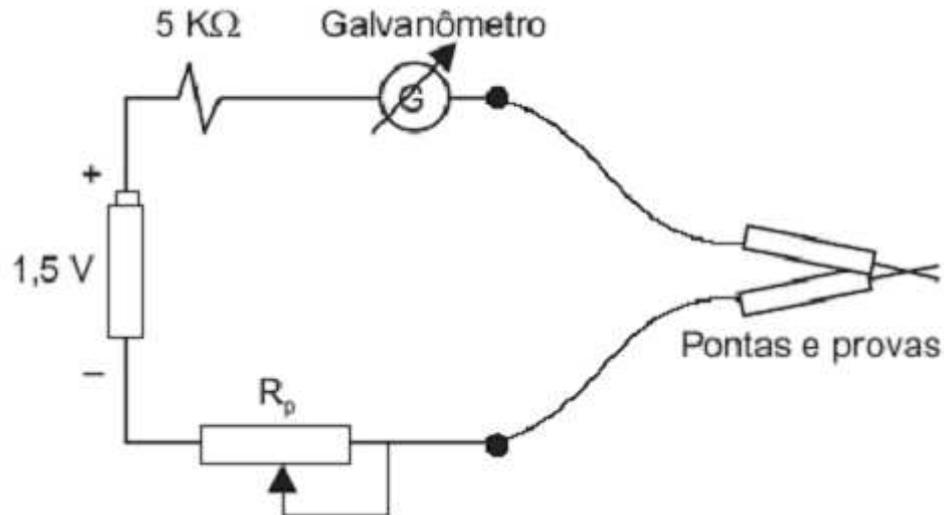


Figura 11 – Ohmímetro.

Onde em ambos é utilizada uma fonte de energia, normalmente provinda de uma bateria, e de um circuito básico para aferição desse equipamento. Todos multímetros aplicados em medições aeronáuticas devem ser calibrados periodicamente (CAVALCANTI, 2013).

Na aplicação do ensaio para averiguar as conexões dos sistemas aviônicos, o ohmímetro (figura 12) deve ser selecionado em sua menor escala, onde para que o ensaio seja considerado satisfatório deve ter a resistência verificada o mais próximo possível de Zero, com valores aceitos até 20 ohms.



Figura 12: Multímetro Digital

Fonte: <http://www.cedesa.com.mx/fluke/multímetros/digitales-portatiles/CNX-3000/> (2015)

É possível verificar por meio da figura 12 os aspectos físicos de um multímetro digital comumente aplicado em testes de continuidade.

Em maio aos testes a serem realizados um outro componente que é amplamente aplicado em testes de equipamentos aeronáuticos, principalmente em atuadores elétricos, é o teste de isolamento. O teste de isolamento é realizado com a utilização de um equipamento denominado Megômetro, onde esse equipamento possui uma fonte de energia muito alta, sendo evidentemente superior a fonte de

energia usada pelo ohmímetro, sendo a fonte de energia utilizada em Megômetros com valores superiores a 1000V (CAVALCANTI,2013).

No intuito de garantir a eficiência de um atuador elétrico é necessário que o valor ôhmico obtido com o uso do Megômetro (figura 13) seja superior a 20 Mega Ohms, onde com isso é garantido à eficiência e segurança do atuador diante de suas aplicações.

O teste é basicamente realizado em um ambiente onde seja possível fixar o Megômetro de forma não haver contato de seus terminais com nenhuma parte metálica, pois pode haver uma descarga elétrica nessa área, sendo necessária o uso de meios isolantes para se garantir o ensaio a ser realizado.



Figura 13: Megômetro Digital

Fonte: <http://www.kwara.com.br/pt/equipamentos/fluke-435-ii> (2015)

Na figura 13 é possível visualizar os aspectos físicos de um Megômetro digital, com ele é possível aplicar valores de energia em atuadores elétricos de maneira a controlar os valores aplicados e de maneira coerente e com qualidade de resultado o valor da isolamento elétrica. Os valores obtidos devem gerar um relatório de inspeção ao qual constará os valores medidos e devem ser anexados a documentação da aeronave (FAA, 2013).

Conforme os procedimentos de ensaios relacionados aos sistemas aviônicos de uma aeronave o ensaio de raios X realizado em placas eletrônicas deve ser realizado comumente em ambiente controlado por meio de uma estação de raios X apropriada para tal aplicação. Normalmente é possível se verificar as conexões com testes simples em bancadas de teste, porém há falhas que somente são detectadas por meio de raios X (figura 14).

Esses testes com raios X são aplicados em ensaios principalmente onde se tem a manutenção placas eletrônicas aeronáuticas, pois se trata de um ensaio muito criterioso e que exige muito de quem analisa os resultados em geral.



Figura 14: Estação de raios X de placas eletrônicas

Fonte: [http://www.novadidacta.com.br/produtos-categoria-produto.php?id\\_cate=12&id\\_sub=140&id\\_prod=1088](http://www.novadidacta.com.br/produtos-categoria-produto.php?id_cate=12&id_sub=140&id_prod=1088) (2014)

Com o uso de uma estação de raios X para placas eletrônicas é possível pelo método analítico obter resultados satisfatório quanto a detecção de falhas em conexões. As falhas que devem ser analisadas por meio do uso de raios X são as relacionadas com as conexões entre as trilhas e ilhas das placas com os componentes soldados nela fixados.

As falhas mais comuns encontradas por meio desse ensaio são as falhas de soldagem e as rupturas indesejáveis em trilhas e ilhas nas placas eletrônicas.

#### 4. Resultados e discussões

Com o uso das técnicas citadas no tópico Metodologias deve ser obtido resultados onde o grande objetivo é garantir a aeronavegabilidade em um espaço de tempo onde as características dos sistemas sejam mantidas intactas.

Com o teste de continuidade é possível obter níveis de confiabilidade altos, pois se trata de um teste que possui um custo relativamente baixo em conta dos resultados que podem ser gerados.

As causas e mecanismos de envelhecimento ou degradação e as falhas mais recentes no EWIS precisaram ser amplamente mapeadas (Slenski, 2002 ; Kuzniar , 2002).

As principais causas de degradação identificadas foram:

- reparos de fios e emendas degradadas; • dano por calor ou fio queimado;
- dano por vibração ou atrito;
- isolamento rompido;
- arco elétrico;
- atrito entre os fios e a estrutura da aeronave;
- dano físico aos isolantes das cablagens devido à manutenção descuidada.

Os principais mecanismos de envelhecimento identificados foram:

- fadiga (dobras, vibração, atrito, fadiga térmica);
- agressão química – fluidos aeronáuticos (limpeza, hidráulica, lubrificante, degelo), selantes, água, oxidantes (ozônio, NOx, SOx);
- radiação – ultravioleta, solar;

- ação de microorganismos biológicos.

Os principais modos de falhas dos sistemas de cablagens foram mapeados e estão ilustrados na figura 15 (Kuzniar, 2001; Slenski, 2001)

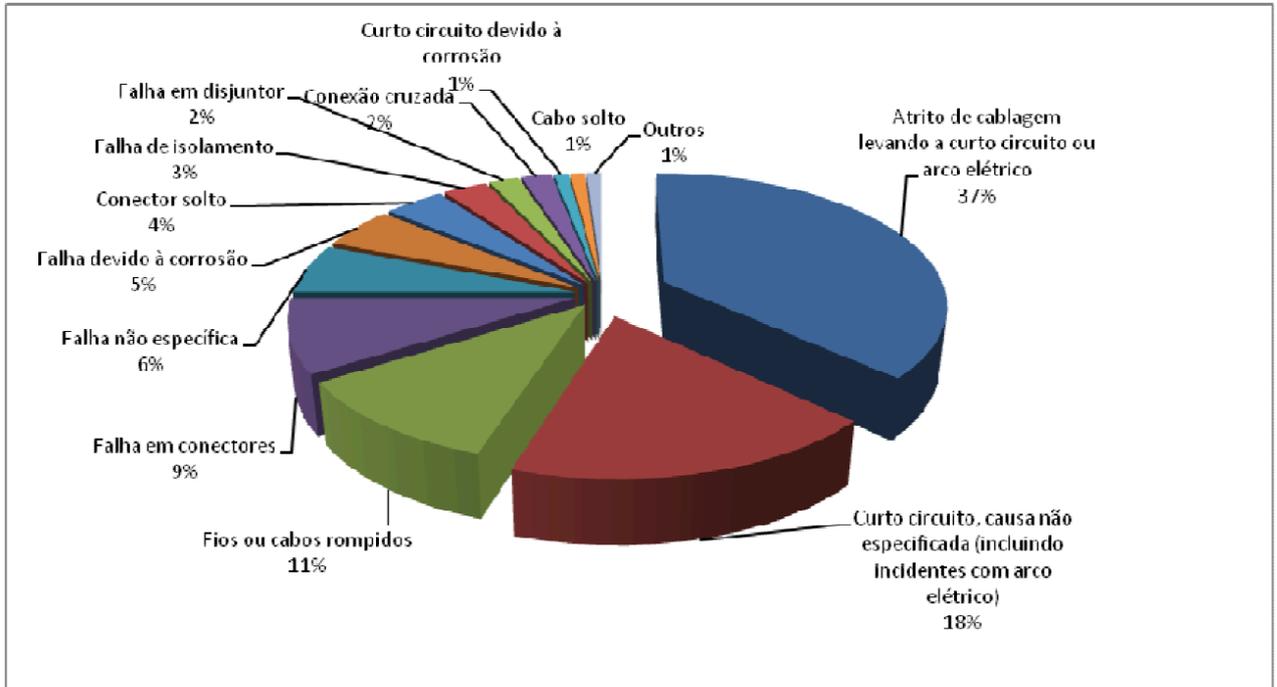


Figura 15: Modos de falha típicos em sistemas de cablagem de aeronaves  
 Fonte: <http://www.abcm.org.br/anais/conem/2010/PDF/CON10-1512.pdf> (2010)

Diante das falhas encontradas nas cablagens é necessário sempre a utilização de instrumentos calibrados conforme normatização DOQ-CGCRE-018. Conforme determinado por meio de ensaios em laboratório foi obtido os valores de calibração dos equipamentos aplicados no meio aeronáutico, mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Valores de Calibração de equipamento aplicado no meio aeronáutico.  
 Fonte: <http://www.itep.br/images/86512.1.pdf> (2008)

	Faixas	Erro do HP (%)	Erro do Fluke (%)
Ohm	HP-300Ω	0,94	0,009
	Fluke-500Ω	0,64	0,010
		0,44	0,005
	HP-30kΩ	0,10	0,013
	Fluke-50kΩ	0,07	0,013
		0,39	0,013
HP-3MΩ	0,57	0,095	
	0,53	0,112	
Fluke-5MΩ	0,45	0,083	
	V <sub>DC</sub>	HP-300mV	0,15
Fluke-50mV		0,05	0,069
		0,02	0,069
HP-30V		0,34	0,0001
		0,31	0,0058
Fluke-0,5V		0,25	0,0058
	0,43	0,0005	
HP-1000V	0,40	0,0003	
	0,35	0,0002	
V <sub>AC</sub>	HP-3V	0,22	-0,0021
		0,17	-0,0018
		0,09	-0,0012
	HP-30V	0,49	0,033
		0,44	0,033
	Fluke-0,5V	0,37	0,034
0,50		0,061	
HP-750V	0,61	0,053	
	0,58	0,049	
I <sub>DC</sub>	HP-30mA	0,12	-0,999
		0,08	-0,999
		0,02	-0,999
	HP-300mA	-0,28	0,00007
		-0,30	0,00005
	Fluke-50mA	-0,29	0,00003
0,57		0,069	
HP-10A	1,42	0,069	
	0,55	0,069	
I <sub>AC</sub>	HP-30mA	0,42	0,113
		0,32	0,115
		0,21	0,115
	HP-300mA	0,06	0,107
		-0,02	0,106
	Fluke-50mA	-0,08	0,336
1,15		0,070	
HP-10A	0,85	0,071	
	0,81	0,071	

Por meio da análise dos resultados na tabela 1, é possível compreender que dependendo do tipo de equipamento utilizado pode-se haver alterações consideráveis nos valores medidos. Tal observação pode ser aplicada diretamente aos Megômetros como um todo, por isso é necessária a aplicação de técnicas que possam gerar cada vez mais segurança no que se diz respeito aos resultados obtidos.

No intuito de se gerar melhores resultados é de extrema importância a aplicação de métodos onde a relação de controle integrada tanto em ensaios não destrutivos convencionais quanto em ensaios que são influências indiretas em falhas que podem ser agravantes e muitas vezes são desprezadas por não se possuir uma análise dos fatores como citados em todo o texto descrito. Por

isso é imprescindível quanto aos fatores de risco um ótimo cuidado quanto as influências nas cablagens, pois podem ser fatores de risco com relação a aeronavegabilidade.

Contudo o raio-X em placas eletrônicas de sistemas aviônicos devem ser aplicadas como fator de análise adicional, pois se trata de um ensaio com requisitos mais críticos em relação aos outros ensaios, pois se trata de uma análise muito ligada ao sistema como um todo.

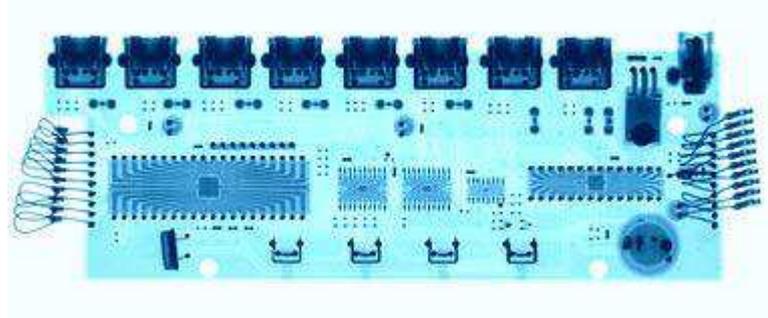


Figura 16: Imagem de Placa em Raio-X

Fonte: <http://pt.dreamstime.com/fotos-de-stock-placa-micro-electr%C3%B3nica-image36619373pdf> (2015)

Na figura 16 é possível visualizar as características de um circuito eletrônico em raio-X, com isso é de extrema importância tal visualização, principalmente no que se diz respeito à área de desenvolvimento. Com isso tal resultado dá ao setor de ensaios grande visualização dos detalhes das placas eletrônicas.

## 5. Conclusão

De acordo com a proposta do trabalho foi possível realizar uma pesquisa embasada em literaturas técnicas, artigos e principalmente em requisitos de legislações relacionadas a aeronavegabilidade, onde foi obtido resultados por meio de análises que puderam garantir que com a integração entre os tipos de ensaios em meios distintos de uma aeronave é coerente para se ter uma visão generalizada quanto as qualidades dos sistemas em funcionamento.

Com intuito de se gerar uma reflexão quanto as resultantes que podem ser interligadas aos problemas e falhas em operações aeronáuticas, com os ensaios em cablagens é possível gerar uma relação muito bem definida desses fatores, com isso é necessário se ter noção de que os fatores de risco em uma aeronave dependem de vários fatores integrados.

Por fim a importância dos equipamentos empregados nos ensaios é de extrema importância no que se diz respeito aos resultados aguardados como satisfatórios.

## 6. Referências

UNITED STATES. Department of Transportation. FAA-2004-18379:enhanced airworthiness program for airplane systems/fuel tank safety; Amendment Nos. 1-60, 21-90, 25-123, 26-0, 91-297, 121-336, 125-53, 129-43. Washington, DC, December 2007. 177p.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. FAR Part § 25 Subpart H: electrical wiring interconnection systems. Washington, DC, 2007.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. Advisory Circular. AC No: 25-27: development of transport category airplane electrical wiring interconnection systems instructions for continued airworthiness using an enhanced zonal analysis procedure. Washington, DC, 2007.

OFFICE OF AVIATION SAFETY. Systems group chairman factual report addendum for electrical wiring information. National Transportation Safety Board. February 2000. PERCISI, E. S.

Proposta do Procedimento de Manutenção do Sistema de Interconexão de Cablagem Elétrica de Aeronaves Regionais. 2009, Dissertação de Mestrado em Engenharia Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

SLENSKI, G. A.; KUZNIAR, J. S. Aircraft wiring system integrity initiatives: A Government and Industry Partnership. U.S. Air Force Research Laboratory, 6th Joint Federal Aviation Administration/Department of Defense/NASA Conference of Aging Aircraft. San Francisco, CA, September 16, 2002.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. Aircraft wiring practices. Aging Systems Program. Washington, DC, 2007.

KUZNIAR, J. S.; SLENSKI, G. A. Wire integrity field survey of USAF Legacy Aircraft. Air Force Research Laboratory. RTO AVT Specialists' Meeting on "Life Management Techniques for Ageing Air Vehicles". Manchester, UK, 2001. STATES. Federal Aviation Administration. Advisory Circular. AC No: 120-84: aging airplane inspections and records reviews. Washington, DC, 2004.

UNITED STATES. Federal Aviation Administration. Advisory Circular. AC 43.13-1B Chapter 11: Aircraft Electrical Systems. Washington, DC, 1998.

DOQ-CGCRE-018 – Orientação para calibração de instrumentos analógicos e digitais de medição na área de eletricidade, Rev. 00, Setembro de 2006.

Vocabulário Internacional de Metrologia, INMETRO; 1ª edição brasileira, Rio de Janeiro, 2009.

FLUKE – 5500A, Calibrador multifunção, Manual de operações, Rev. 08, U.S.A., dezembro de 1994.

Guia para expressão da incerteza de medição, INMETRO, 3ª edição, Rio de Janeiro, 2003.

## **7. Comunicado de responsabilidade**

O autor é o único responsável pelo material pesquisado.

**Abstract.** The wiring of an aircraft it is an item you utmost importance in an aircraft , mainly because it is the means of connection of the aircraft's systems with the performance and sensing devices , these being coupled to the aircraft control surfaces .