

Qualidades de Pilotagem

Otimização do Processo de Escolha de Aeronaves de Caça para Superioridade Aérea

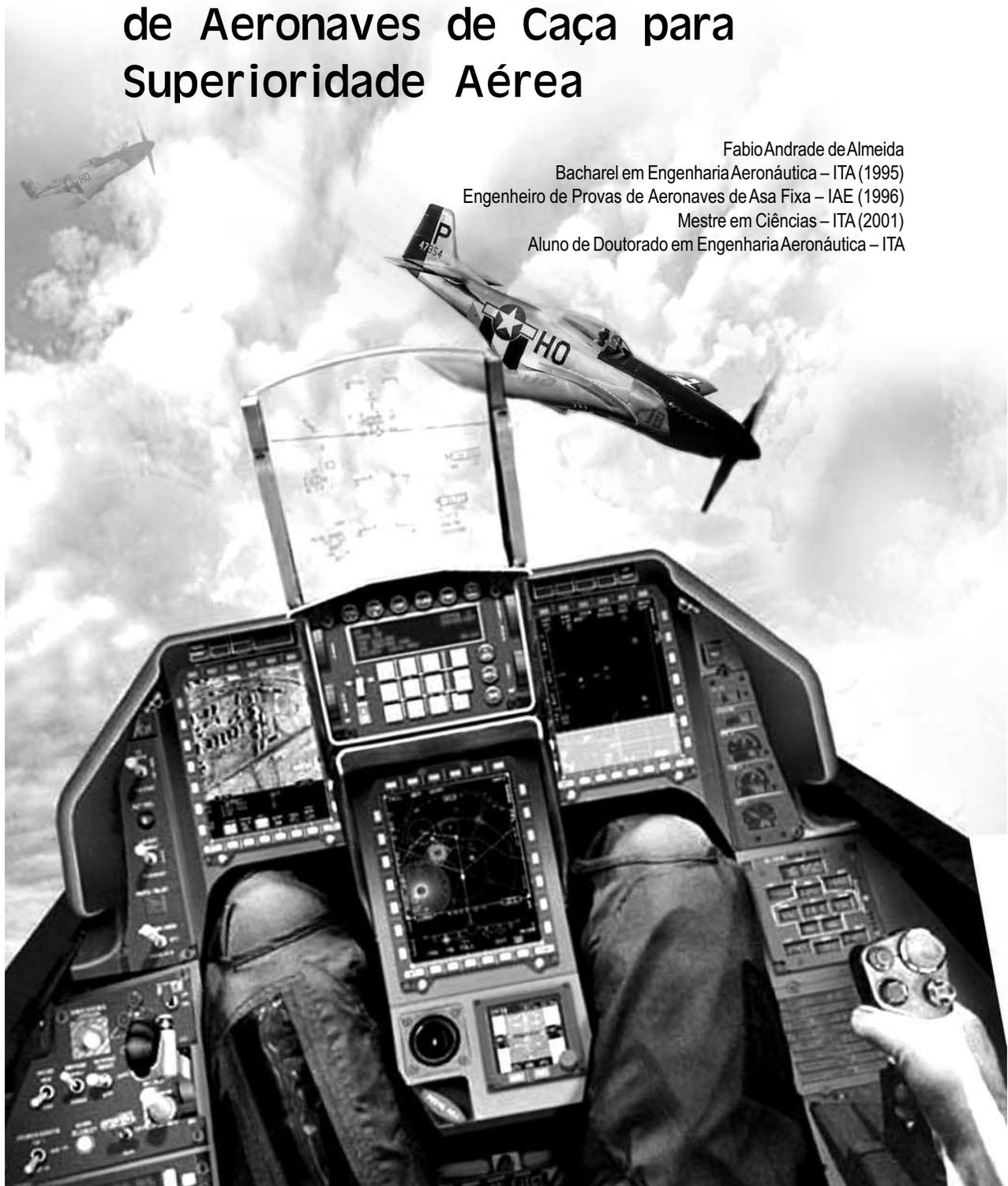
FabioAndrade deAlmeida

Bacharel em Engenharia Aeronáutica – ITA (1995)

Engenheiro de Provas de Aeronaves de Asa Fixa – IAE (1996)

Mestre em Ciências – ITA (2001)

Aluno de Doutorado em Engenharia Aeronáutica – ITA



1 - Introdução

A arte de pilotar uma aeronave tem estimulado o ser humano ao longo dos últimos 100 anos. Para aqueles que conseguem ingressar em uma escola de aviação, civil ou militar, um intenso conteúdo teórico e prático é ministrado para que o aluno possa conduzir a aeronave dentro das consagradas técnicas de pilotagem.

Além disso, o aluno-aviador é ensinado a manter um nível de autoconfiança elevado para que ele próprio seja capaz de voar qualquer aeronave e cumprir a sua missão, mesmo em condições adversas. Entretanto, nem todas as aeronaves colaboram para isso.

Um exemplo é a aeronave de caça sueca JAS-39 *Gripen*, que, durante o seu desenvolvimento, enfrentou graves problemas de projeto que conduziram à perda de dois protótipos em voo.

Em um destes acidentes, a aeronave se descontrolou em um voo a baixa altura, resultando na ejeção (bem-sucedida) do piloto de provas. Ao reportar o ocorrido, o piloto descreveu “oscilações violentas” do protótipo, que resultaram em perda total de controle.

Nesse exemplo, verificou-se que a aeronave não estava preparada para ser corretamente pilotada, ou seja, suas qualidades de pilotagem eram ruins, não permitindo que o piloto cumprisse a sua missão ou tampouco voasse de forma segura.

Nesse trabalho, voltado para a tarefa de superioridade aérea da FAB - fator essencial para a soberania da Nação - será proposta uma metodologia de avaliação de aeronaves de caça que resultará em um resultado confiável e objetivo. A partir desse método, será possível decidir a melhor opção para a FAB, pelo ponto de vista do combatente, minimizando o risco de uma escolha incorreta.

Para isso, é necessário o conhecimento de técnicas de ensaios em voo e de critérios

objetivos que permitam estabelecer uma base sólida de comparação entre as aeronaves.

O processo de desenvolvimento desses critérios foi marcado pelo progresso tecnológico da aviação. É necessário, assim, conhecer os eventos iniciais do mundo aeronáutico, onde a avaliação era subjetiva, para mostrar o instante que se alcançou um estágio de rigor científico.

2 - Histórico dos Critérios de Qualidades de Pilotagem

Os critérios de qualidades de pilotagem foram criados e aprimorados, acompanhando a própria evolução da aviação. Os progressos do campo aeronáutico, juntamente com o aperfeiçoamento das técnicas e métodos de avaliação, constituem uma única história.

2.1 - Período da II Guerra Mundial

A demanda por aeronaves de alto desempenho na II Guerra Mundial fez com que surgissem famosos projetos de aeronaves de superioridade aérea, entre eles o inglês *Spitfire*, o japonês A6M *Zero*, o alemão Me-109 e o norte-americano P-51 *Mustang*. Em comparação aos seus antecessores, essas aeronaves eram mais rápidas e voavam mais alto, além de realizarem manobras com maior agilidade.

Do ponto de vista de qualidades de pilotagem, as avaliações realizadas pelos pilotos eram rudimentares e desprovidas de qualquer método científico. Não existiam critérios definidos e tampouco métodos de escolha entre aeronaves.

Os projetos aeronáuticos daquela época possuíam conceitos simples e os limites de operação (velocidade e altitude) eram reduzidos, igualando as aeronaves. Além disso, não era necessário escolher entre dois ou mais aviões, dado o monopólio de fornecimento em todas as grandes Forças Aéreas.





Fig. 2-1: P-51 Mustang

2.2 - B-52, YB-49 e a Tecnologia SAS

A década de 50 marcou uma nova fase da aviação e das qualidades de pilotagem. O vôo inaugural do bombardeiro estratégico B-52 *Stratofortress*, em 1954, foi um evento considerável. Nesse vôo, um dos pilotos de prova a bordo comentou que as forças para pilotar o avião eram elevadas, acima do tolerável para um ser humano.

De volta ao solo, a análise de engenharia mostrou que a força feita pelo piloto na cabine de comando crescia proporcionalmente com a velocidade do avião. Como as velocidades no vôo eram altas, a força tornou-se inaceitável.

Portanto, notou-se a necessidade de auxiliar o piloto no esforço de pilotagem, nascendo o conceito de pilotagem assistida. Esse conceito é idêntico ao encontrado em carros com direção hidráulica.

Paralelamente ao projeto do B-52, a aeronave experimental YB-49 tentava provar alguns novos conceitos aerodinâmicos. Este bombardeiro (Fig. 2-2) possuía apenas uma

asa e quatro motores, sem as tradicionais superfícies de estabilização. Seu conjunto era instável e difícil de ser pilotado.

Os engenheiros do programa decidiram, então, incorporar na aeronave um sistema de aumento de estabilidade (*SAS*). Esse sistema tornaria a aeronave novamente estável, agora de forma artificial. Tal tecnologia é utilizada até hoje em grande parte das aeronaves modernas, tanto de transporte quanto de caça. Na FAB temos, por exemplo, as aeronaves A-1, F-5 e R-99 que utilizam essa tecnologia.

2.3 - O Critério Cooper-Harper

A crescente complexidade dos sistemas incorporados aos aviões gerou a necessidade de aperfeiçoar a avaliação das qualidades de pilotagem. O trabalho mais importante, no sentido de oferecer objetividade às avaliações foi realizado por dois cientistas pertencentes à NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) em 1969.

Naquele ano, George Cooper e Robert Harper apresentaram um relatório contendo





Fig. 2-2: YB-49 Flying Wing

uma metodologia simples de avaliação de aeronaves. Nesse método, o piloto de provas realiza uma manobra operacional e, dependendo da dificuldade e do resultado da manobra, ele atribui graus que variam de 10 a 1. Quanto melhor o desempenho da aeronave, menor será o grau atribuído. Esse método é chamado tradicionalmente de **Cooper-Harper**.

Esse método, utilizado amplamente até os dias de hoje, contém dois conceitos importantes: **Manobra Operacional**: a aplicação do critério ocorre na realização de uma manobra operacional típica da missão da aeronave, por exemplo, ao realizar uma interceptação, um piloto de caça necessita decolar, subir, encontrar o alvo e, se necessário, eliminá-lo através do uso de armamento. **Níveis Adequado e Desejado**: para que o critério Cooper-Harper seja aplicável é necessário que dentro de uma manobra operacional sejam definidos níveis adequado e desejado, por exemplo, em uma manobra operacional de pouso, pode-se desejar o pouso em no máximo 100 metros a partir de um ponto pré-definido, sendo adequado

o pouso em até 200 metros do ponto. O nível desejado é o que realmente se busca e o adequado é o máximo que se tolera. A definição dos valores dos níveis é feita pelo piloto e engenheiro de provas, tendo em mente qual o tipo de missão que a aeronave irá desempenhar.

A concepção desse método foi um marco importante no trabalho de avaliação de uma aeronave sob o ponto de vista de qualidades de pilotagem. Paralelamente, o mundo aeronáutico continuou evoluindo e apresentando novos conceitos.

2.4 - As Tecnologias CAS e Fly-By-Wire

As Guerras da Coreia e do Vietnã mostraram aos norte-americanos a real condição de sua Força Aérea e também das Forças Aéreas Comunistas, fortemente subsidiadas pela antiga União Soviética. Enquanto que na Guerra da Coreia cada aeronave de caça norte-americana era responsável por derrubar 10 aeronaves inimigas (em média), na Guerra do Vietnã esse número caiu para apenas 2.

Uma das causas investigadas apontava para o nível de esforço elevado dos pilotos



de caça. Os sistemas eletrônicos das aeronaves foram crescendo em complexidade e um número, exigindo do piloto uma atenção maior em atividades que não era necessariamente, a condução da aeronave. Sistemas como radares, medidas e contra-medidas eletrônicas, navegação e pontaria requeriam extrema atenção por parte do piloto.

Sabendo da necessidade de aliviar a carga de trabalho do piloto, nasceu a tecnologia de sistema de aumento de controle (*CAS*). Nessa tecnologia, o projeto da aeronave torna a pilotagem mais fácil e intuitiva.

Nesse sentido, extensas pesquisas foram conduzidas para determinar quais características uma aeronave necessita para que o piloto cumpra a missão da forma mais eficaz. No final dos anos 60 e no início dos anos 70, milhares de horas de vôo foram gastas e os resultados foram compilados para embasar novos projetos. A partir de então se conhecia o modelo ideal de uma aeronave, principalmente de um caça.

Dois caças norte-americanos se valeriam dessa nova tecnologia: o F-15 *Eagle* (para

superioridade aérea) e o F-16 *Falcon* (multi-tarefa). O F-16 (Fig. 2-3) também inovou ao não utilizar mais cabos e hastes mecânicas para os comandos de manche e pedal da aeronave. Os complexos sistemas mecânicos deram lugar a computadores e circuitos integrados, inaugurando a era da arquitetura *fly-by-wire* na aviação militar.

Para aeronaves modernas, que incluem as tecnologias *SAS*, *CAS* e *Fly-by-Wire*, o tradicional método Cooper-Harper mostrou-se insuficiente. Faz-se necessário conhecer os critérios modernos de qualidades de pilotagem que preencheram essa deficiência.

3 - Critérios Modernos de Avaliação de Qualidades De Pilotagem

O tradicional método Cooper-Harper foi concebido para avaliar aeronaves com sistemas simples. Com o advento das tecnologias de redução de carga de trabalho do piloto (*CAS* e *SAS*), verificou-se que a utilização deste critério somente não era suficiente para verificar as qualidades de pilotagem.



Fig. 2-3: F-16 *Falcon*

Nos anos 70, nasceram novos critérios objetivos. Nesses critérios, em invés de realizar uma manobra operacional com níveis adequado e desejado, o piloto executa manobras sintéticas e pré-determinadas. Os dados gravados por um sistema especial (instrumentação) são processados e comparados com esses critérios. Não existe nota ou grau emitido pelo piloto.

Entre todos os métodos existentes, destacam-se os seguintes: **Critério de Neal-Smith**: feito para aeronaves de caça de superioridade aérea, mais especificamente para combate ar-ar; **Critério de Ordem Reduzida**: conceitualmente simples, muito mais utilizado na aviação de caça e também de transporte, e **Critério de Gibson**: o mais recente de todos (1995), estruturado em torno de pesquisas de âmbito mundial.

Uma limitação desses critérios é o tipo de resultado fornecido, que se resume apenas a satisfatório (critério cumprido) ou insatisfatório (não cumprido).

As soluções incorporadas às aeronaves para redução da carga de trabalho do piloto continuaram evoluindo e apresentando novos recursos. Contudo, novos problemas também surgiram por consequência. Entre eles, o mais conhecido é chamado de “oscilações induzidas pelo piloto”, ou pela abreviatura em inglês *PIO (Pilot Induced Oscillations)*.

O primeiro caso conhecido de *PIO* ocorreu em 1960 com a aeronave de treinamento norte-americana T-38 *Talon*, durante um combate ar-ar. Ocorreram graves danos estruturais à aeronave.

Esse fenômeno acontece, principalmente, em aeronaves modernas que, devido ao número enorme de subsistemas incorporados aos comandos de voo, apresentam um atraso temporal entre o comando do piloto e a resposta da aeronave. Em determinadas tarefas operacionais que requerem rapidez de ação por parte do piloto, esse atraso pode afetar o cumprimento da missão ou até

mesmo afetar a segurança de voo, como no caso do acidente do *Gripen*.

A importância de conhecer o fenômeno de *PIO* cresce à medida que o custo unitário de uma aeronave de caça sobe exponencialmente. No caso da FAB, a perda de um caça implica uma significativa redução da operacionalidade dos esquadrões, uma vez que a reposição da aeronave perdida é inviável.

Em 1997, um engenheiro de provas norte-americano chamado Ralph Smith apresentou um critério que se propunha a prever o fenômeno de *PIO* antes que ocorresse em voo. Esse critério ganhou o nome de **Critério de Smith-Geddes** e tem sido extensamente empregado na aviação civil e militar.

Dessa forma, nos dias atuais, dispõe-se de diversos critérios de qualidades de pilotagem. Resta agora saber como empregá-los de forma coerente em um processo de escolha de aeronaves de superioridade aérea para a FAB.

4 - Otimização do Processo de Escolha de Uma Aeronave de Caça

A FAB tem passado por um processo de revitalização de sua frota nos últimos cinco anos. Acompanhando esse processo, verificase a quantidade de restrições orçamentárias para as novas aquisições. Por muitas vezes, é necessário diminuir o número de aeronaves a serem adquiridas para justamente respeitar o orçamento disponível.

Os novos caças comprados pela FAB apresentam as mesmas restrições. Portanto, quando houver o recurso, a Força deverá estar certa da melhor escolha, que atenda as necessidades atuais e também futuras pelos próximos 40 anos.

Grande parte das Forças Aéreas dos países em desenvolvimento utilizam apenas o critério de Cooper-Harper para avaliar



aeronaves. Como foi visto, esse critério é insuficiente para a avaliação de aeronaves com tecnologias modernas de redução de carga de trabalho do piloto.

A metodologia a ser apresentada neste trabalho denominada “tabela de critérios” que utiliza **todos** os critérios expostos nos capítulos anteriores. Dessa forma, reduz-se, significativamente, o risco de uma aquisição incorreta.

A união de todos os critérios deve obedecer alguns princípios: a nota do critério Cooper-Harper é transcrita na forma como é dada pelo piloto; os critérios objetivos (Gibson, Ordem Reduzida e Neal-Smith) apresentam grau **1** quando o resultado for satisfatório e grau **5** quando insatisfatório. Além disso, o critério de Neal-Smith é aplicável somente em manobras operacionais de combate ar-ar e o não-cumprimento do Critério de Smith-Geddes (*PIO*) afeta tanto a segurança quanto o cumprimento da missão. Caso isso ocorra, o grau a ser dado será **10**. O grau **1** será dado no caso do resultado ser satisfatório.

Dessa forma, a “tabela de critérios” consiste na montagem de uma tabela em que, para diversas manobras operacionais e sintéticas, os critérios sejam aplicados e os graus sejam atribuídos.

Ao realizar esse procedimento para todas as aeronaves avaliadas obtém-se uma tabela individual com cada grau. A aeronave que apresentar a menor pontuação geral será considerada a mais adequada para a tarefa de superioridade aérea, de acordo com os critérios empregados de qualidades de pilotagem.

Manobras Operacionais / Sintéticas	Cooper-Harper	Neal-Smith	Gibson	Ordem Reduzida	Smith-Geddes
Decolagem	1	-	1	5	-
Combate Ar-Ar	4	-	1	1	-
Ataque ao Solo	1	-	1	1	-
Reabastecimento em Voo	4	-	1	1	-
Pouso	1	-	1	1	-
SUBTOTAL	11	1	4	9	0
TOTAL	37				

Fig. 4-1: Tabela de critérios da aeronave “A”

A Figura 4-1 apresenta o exemplo da avaliação de uma aeronave fictícia “A”.

Durante o mesmo processo de avaliação, obtiveram-se os dados da aeronave fictícia “B”, mostrados na Figura 4-2. A aeronave “B” recebeu uma forte penalização, porque, na manobra de decolagem, apresentou um grau Cooper-Harper elevado e, ao mesmo tempo, o critério de Smith-Geddes apontou para uma grande possibilidade de ocorrência de *PIO* nessa condição. A aquisição de uma aeronave com esses resultados deve ser considerada inaceitável para a FAB.

Manobras Operacionais / Sintéticas	Cooper-Harper	Neal-Smith	Gibson	Ordem Reduzida	Smith-Geddes
Decolagem	6	-	1	5	10
Combate Ar-Ar	4	1	1	1	1
Ataque ao Solo	4	-	1	1	1
Reabastecimento em Voo	4	-	1	1	1
Pouso	4	-	5	1	1
SUBTOTAL	22	1	9	9	14
TOTAL	55				

Fig. 4-2: Tabela de critérios da aeronave “B”

A aeronave “A” recebeu pontuações satisfatórias nos cinco critérios aplicados, indicando, assim, qualidades de pilotagem adequadas para o cumprimento da tarefa de superioridade aérea.

A utilização da “tabela de critérios” vem a ser solução para avaliação das qualidades de pilotagem de aeronaves de caça. Assim sendo, faz-se necessário um retrospecto do assunto, revendo os conceitos históricos e atuais mais relevantes, bem como a importância do método proposto.

Conclusão

A FAB entra no século XXI com a necessidade de uma aeronave de caça que exerça a tarefa de superioridade aérea. Prevendo que essa aeronave voe na Força pelos próximos quarenta anos, é fundamental que a escolha cumpra a missão com segurança e eficácia.

No início deste trabalho, foi mostrada a evolução histórica das aeronaves e como o processo de avaliação em voo da pilotagem partiu de conceitos subjetivos para se chegar,



em 1969, ao critério científico denominado Cooper-Harper.

No capítulo seguinte, foram apresentados os critérios mais modernos para avaliar as qualidades de pilotagem de aeronaves, dentre eles os critérios de Gibson, Neal-Smith e Ordem Reduzida. Mostrou-se a preocupação em torno do fenômeno de *PIO* (Oscilações Induzidas pelo Piloto) e como o critério de Smith-Geddes é capaz de prevê-lo.

Por último, foi proposto o método “tabela de critérios”, utilizando os melhores critérios conhecidos. Esse método pode ser aplicado para diversas aeronaves de superioridade aérea e aquela que obtiver o menor grau total será a que possui melhores qualidades de pilotagem com segurança.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi alcançado ao se apresentar uma metodologia que forneça, de forma quantitativa, um

indicativo de qual aeronave de caça cumpre melhor a tarefa de superioridade aérea, reduzindo a subjetividade nas avaliações e aumentando a confiança na escolha certa para a FAB.

Uma Nação soberana possui o controle total do seu território. Cumprir a tarefa de superioridade aérea significa manter a propriedade do espaço aéreo, coibindo a incursão de aeronaves não-autorizadas. Para isso, torna-se claro que a FAB necessita da melhor opção de aeronave de caça que o mercado mundial pode oferecer.

Finalizando, o processo de escolha deve ser feito tendo em mente o que somos como Força Aérea e o que queremos como combatentes. A decisão correta será o resultado desta auto-análise, onde a quantidade de informações disponíveis desempenhará um papel fundamental.

Referências

Brasil. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**. Brasília, 2000. (DMA 1-1).

Cooper, George; Harper, Robert. **The Use of Pilot Rating in the Evaluation of Aircraft Handling Qualities: NASA TN D-5153**. Washington DC, 1969.

Departamento of Defense. **MIL-HDBK-1797 - Flying Qualities of Piloted Aircraft**. Washington DC, 1997.

Frigini Antonino J. Jr. **Manual de Qualidades de Pilotagem: QA-06**. São José dos Campos, 2002.

Rendall, Ivan. **Splash One – The Story of Jet Combat**. New York: Weidenfeld & Nicolson, 1997. 362 p.

Stevens, Brian L.; Lewis, Frank L. **Aircraft Control and Simulation**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 2004

