

SAA0167

Princípios de Aviônica e Navegação

Interação Humano-Máquina

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto

jhbidi@sc.usp.br

- **Introdução**
- **Sistemas de Piloto Automático**
- **Tendências Futuras da Interação Humano-Máquina**

- **Introdução**
- Sistemas de Piloto Automático
- Tendências Futuras da Interação Humano-Máquina

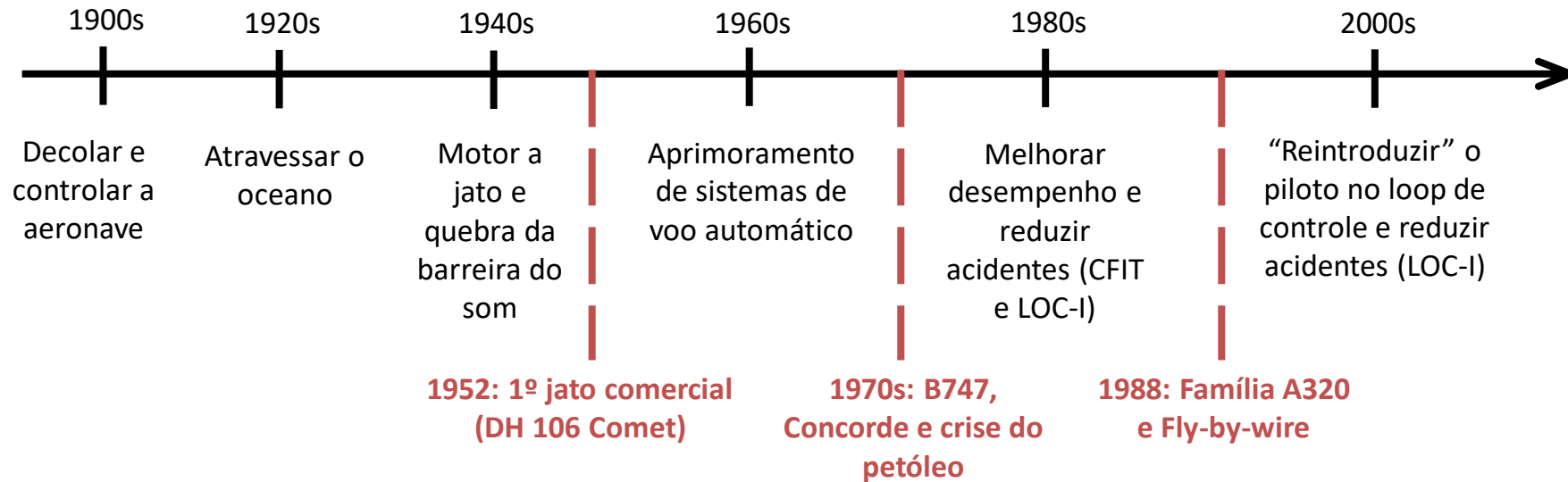
- **Considerações Históricas**

- Historicamente, o papel do piloto humano dentro do cockpit mudou consideravelmente e ainda hoje é objeto de muitos estudos
- Em sua maioria, as pesquisas e intervenções na relação piloto-aeronave têm como principal objetivo o aumento da segurança de voo
- Dentre os diversos mecanismos utilizados para modificar a interação humano-aeronave, os sistemas de piloto automático figuram como protagonistas
- Cabe notar que toda alteração vem acompanhada de aspectos positivos e negativos, sendo assim, o automatismo pode introduzir elementos indesejáveis e diminuir a consciência situacional da tripulação, isto é, os pilotos podem deixar de entender por completo o que a aeronave está tentando fazer

- **Considerações Históricas**

- Nesses poucos mais de 100 anos de história, a aviação evoluiu a passos muito largos:

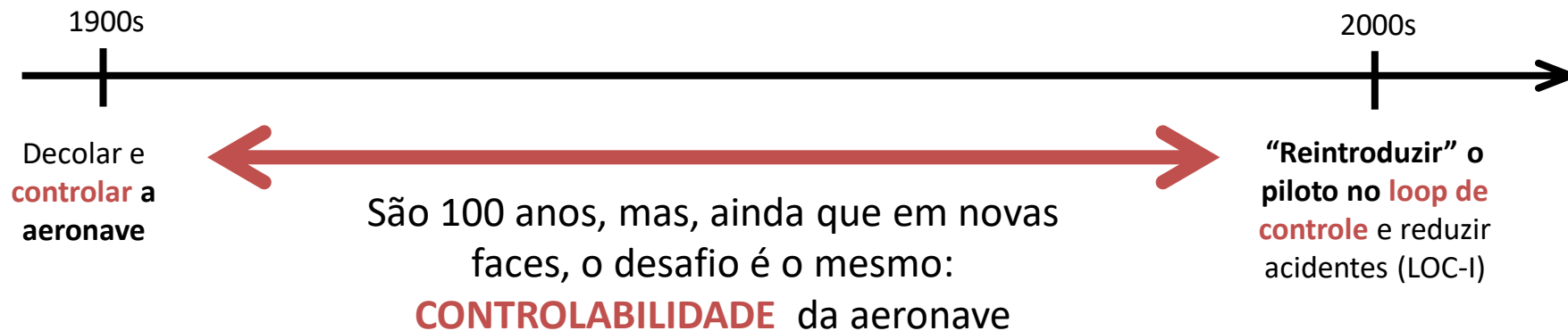
Alguns desafios da aviação comercial



- **Considerações Históricas**

- Nesses poucos mais de 100 anos de história, a aviação evoluiu a passos muito largos:

... mas alguns dos desafios enfrentados em seus primórdios são ainda atuais



- Introdução
- **Sistemas de Piloto Automático**
- Tendências Futuras da Interação Humano-Máquina

- **PA – Por que surgiram e o que são**
- Com o aumento da duração dos voos, os pilotos passaram a experimentar níveis de cansaço que prejudicavam enormemente a segurança de voo, dessa forma, surgiu a necessidade de desenvolvimento de sistemas que aliviassem a carga de trabalho dos pilotos e permitissem que eles pudessem gerenciar aspectos mais gerais do voo
- Tais sistemas são nomeados “piloto automático”, isto é, podem atuar nas superfícies de comando seguindo determinações do piloto humano, mas sem que este utilize a coluna de controle (manche/sidestick) ou os pedais de leme

- **PA – Rápido apahado histórico**
- Ainda em 1912, o primeiro piloto automático surgiu com a funcionalidade de movimentar o profundor e o leme de maneira que a aeronave mantivesse determinado curso e altitude pré-estabelecidos pelo piloto
- Já ao final da Segunda Guerra Mundial, as aeronaves eram capazes de realizar voos transatlânticos mantendo-se reto niveladas em altitudes e rumos determinados pela tripulação
- Atualmente, os pilotos automáticos certificáveis das aeronaves comerciais são capazes de controlar movimentos durante todas as fases de voo, com exceção feita ao táxi e à decolagem. Usualmente fazem parte de um sistema maior dos aviões conhecido como Flight Management System (FMS)

- PA – Rápido apahado histórico

Lawrence Sperry – criador do 1º piloto automático



FONTE: scandinaviantraveler.com

Painel de controle do piloto automático em 1947



FONTE: Wikipedia



FONTE: aviationtoday.com

- **PA – Mudanças na relação piloto-aeronave**
- A gradual evolução do piloto automático (e de outros sistemas), graças aos avanços da tecnologia digital, modificou a interação humano-máquina de modo até mesmo a alterar a estrutura de trabalho dentro do cockpit
- Até início dos anos 1980 as aeronaves comerciais contavam com 2 pilotos, 1 navegador e 1 engenheiro de voo. Cabia ao navegador localizar a aeronave no espaço e orientar os pilotos para um ponto futuro; ao engenheiro de voo confiava-se a função de monitoramento e operação dos sistemas da aeronave, estando este sempre em comunicação com os pilotos para conscientizá-los em relação ao estado geral da aeronave

- PA – Mudanças na relação piloto-aeronave



Cockpit típico de uma aeronave no início dos anos 1980:

- 1 piloto e 1 co-piloto
- 1 engenheiro de voo (direita)
- 1 navegador/operador de rádio (esquerda)

FONTE: homebuilt.org

- PA – Mudanças na relação piloto-aeronave
- A integração entre sistemas inerciais e piloto automático logo eliminou a necessidade da posição de navegador

Cockpit sem navegador/operador de rádio:

1 piloto e 1 co-piloto
1 engenheiro de voo

FONTE: samchui.com



- PA – Mudanças na relação piloto-aeronave
- A integração entre sistemas inerciais e piloto automático logo eliminou a necessidade da posição de navegador

Cockpit do Concorde:
1 piloto e 1 co-piloto
1 engenheiro de voo

FONTE: airliners.net



- **PA – Mudanças na relação piloto-aeronave**
- A integração entre sistemas inerciais e piloto automático logo eliminou a necessidade da posição de navegador
- Um pouco mais à frente, especialmente com o advento de aeronaves bimotoras e com a evolução dos sistemas de controle próprio dos motores – a saber, FADEC –, o piloto automático passou a incorporar a regulagem de potência dos motores – sistemas autothrottle e autothrust – e monitorar constantemente os diversos equipamentos da aeronave. Assim, a posição de engenheiro de voo deixou de ser necessária

- PA – Mudanças na relação piloto-aeronave



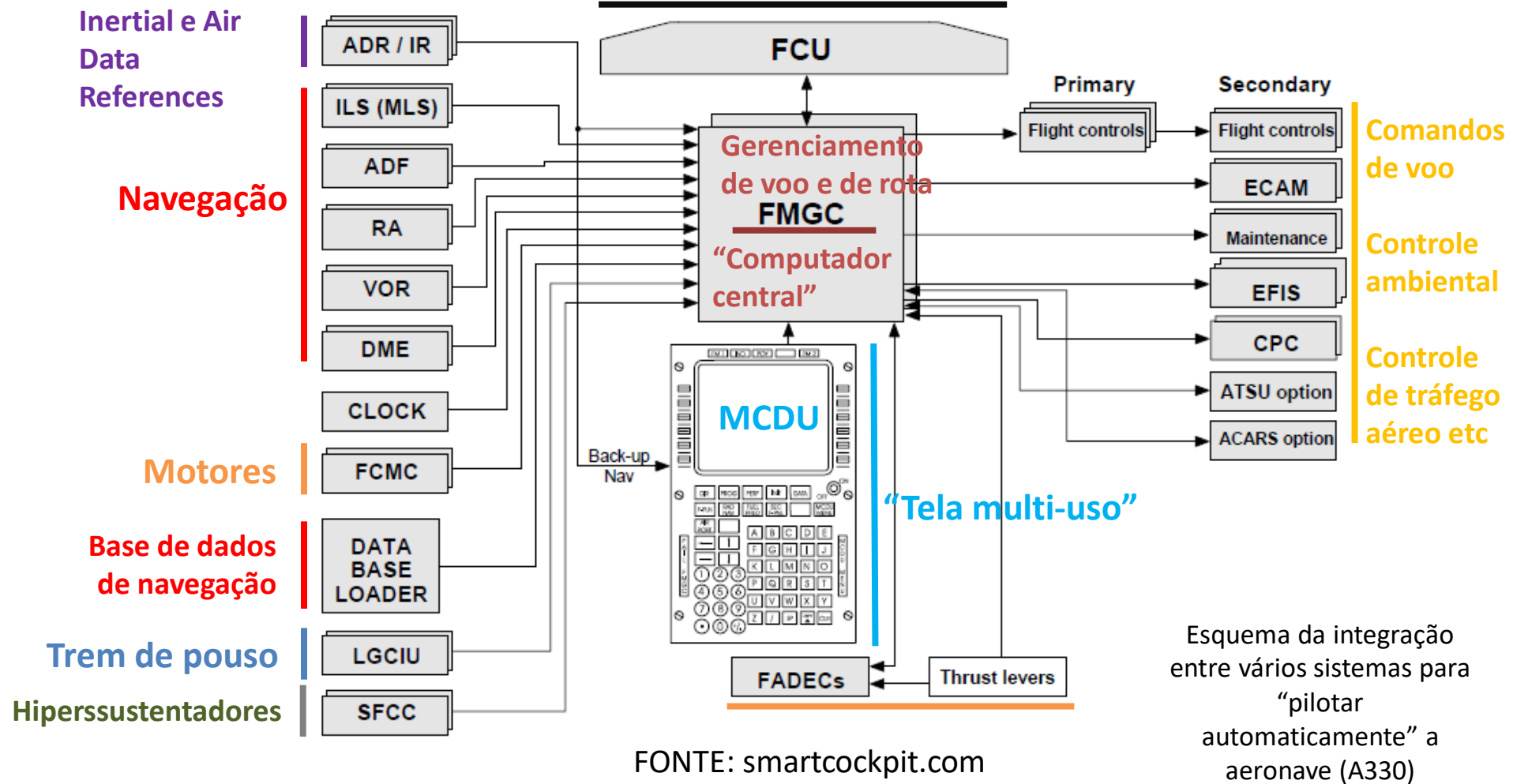
Cockpit do A380:
1 “pilot-flying” e 1 “pilot-monitoring” (CRM)

Perceba que os dois pilotos estão monitorando a aeronave e não propriamente controlando-a

FONTE: Wikipedia

- **PA – Estado atual**
- Na atualidade, as funções do piloto automático são tantas e tão confiáveis, que, na maior parte do tempo, os pilotos humanos passam a ser muito mais “gerenciadores de voo” do que, efetivamente, “controladores da aeronave”
- Tal integração entre tanto sistemas permitiu que a alteração do estado da aeronave passasse a ser “analisada” diante do estado completo do veículo. Por exemplo, o piloto humano pode pedir que o piloto automático mantenha determinada velocidade, estando a aeronave em uma dada configuração de flaps. Vamos supor, contudo, que a velocidade pedida pelo humano seja abaixo da V_{STALL} nesta dada configuração. O piloto automático, então, identifica tal disparidade e mantém a aeronave em velocidade o mais próxima possível da comandada, mas acima da V_{STALL} , mantendo voo seguro

Controle do piloto automático



FONTE: smartcockpit.com

- **PA – Estado atual**
- A grosso modo, ao sistema que realiza eletronicamente essa análise de estado do veículo e atua hidraulicamente nas superfícies de comando, seja por inputs do piloto automático ou do piloto humano, dá-se o nome de Fly-by-Wire
- Dentre as funções desse sistema, transversal a todos os outros sistemas da aeronave, estão a emulação da sensibilidade de comando aos pilotos humanos e, principalmente, as proteções de envelope

Com base no estado total da aeronave, algumas entradas de comando que gerariam movimentos além dos limites de segurança da aeronave podem ser limitados ou mesmo impedidos

- **PA – Estado atual**
- A grande rede de informações que abastece o piloto automático, em conjunto com as especificidades de sistemas Fly-by-Wire permite que as proteções atuem mesmo em condições fora da normalidade
- Nesses casos, há diversos modos de proteção, sendo que eles não se “desarmam” subitamente, mas gradativamente caem de modos de maneira que algumas das funcionalidades e proteções ainda estejam presentes

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos

Airbus

Modo normal: conta com 5 tipos de proteções

- Pitch attitude
- Load factor limitations
- Speed
- Angle of Attack (AoA)
- Bank angle

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos

Airbus

Modo normal

↳ Modo alternado: há 2 tipos

ALT 1: ativa-se, por exemplo, com a perda de informações de um dos tubos de pitot

- Pitch attitude
- Load factor limitations
- Speed
- Angle of Attack (AoA)
- Bank angle

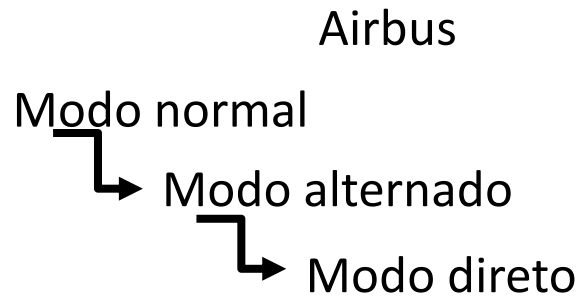
ALT 2: ativa-se, por exemplo, na ocasião de falha de todos os motores

- Pitch attitude
- Load factor limitations
- Speed
- Angle of Attack (AoA)
- Bank angle

As funções podem não ser completamente perdidas, mas ficam limitadas

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos

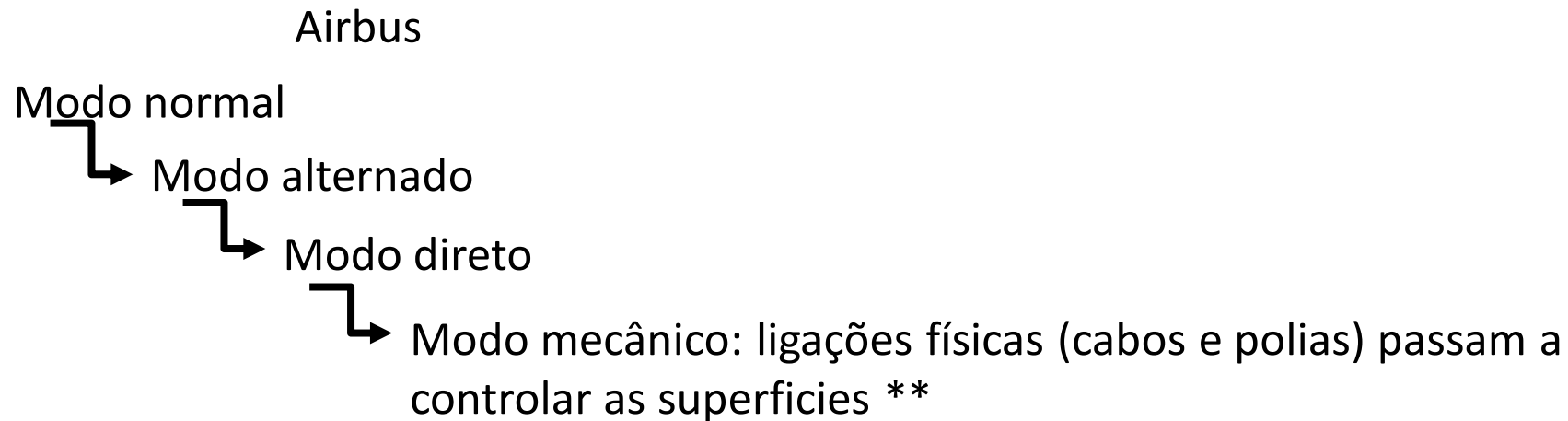


- o sidestick e os pedais passam a atuar diretamente nas superfícies
- todas as proteções são perdidas *
- ativa-se, por exemplo, na ocasião de falha de todas as unidades de referência inerciais

* Mais precisamente, as superfícies de controle ainda podem ter suas deflexões máximas limitadas a depender da condição de CG da aeronave

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos



** Algumas aeronaves, como o A350, já não contam com esse modo

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos

Boeing

Modo normal: proteções

- Pitch attitude
- Speed (low and high)
- Angle of Attack (AoA)
- Bank angle
- Turn compensation
- Stability augmentation
- Thrust asymmetry compensation

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos

Boeing

Modo normal

↳ Modo secundário

- similar ao modo alternate da Airbus
- nem todas as proteções ficam disponíveis
- ocorre, por exemplo, na ocasião de dados inerciais duvidosos

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos

Boeing

Modo normal

↳ Modo secundário

↳ Modo direto: os comandos do piloto não são mais processados por computadores, portanto, “o que o piloto comandar, o avião faz”

- PA – Comparativo Boeing x Airbus

Exemplos

Boeing

Modo normal

↳ Modo secundário

↳ Modo direto

↳ Modo mecânico: ligações físicas entre dispositivos de comando e superfícies de controle

- Introdução
- Sistemas de Piloto Automático
- **Tendências Futuras da Interação Humano-Máquina**

- Com tantas funcionalidades, o afastamento dos pilotos do loop de controle passa a ser tão grande que em situações em que o piloto automático, seja qual for o motivo, alcança limitações que o impedem de controlar a aeronave, o comando chega ao piloto humano de modo tão degradado que este também não consegue controlar o veículo (AirFrance 447)
- Inaugura-se, assim, o conceito de um acidente conhecido como “Perda de Controle em Voo” (LOC-I)

- Como forma de tentar aumentar a consciência situacional da tripulação, “reintroduzir” o piloto no loop de controle e elevar os patamares de segurança de voo, inclusive na tentativa de reduzir ocorrência LOC-I, discute-se na atualidade a possibilidade de incorporação de novos instrumentos na cabine de comando.

- Exemplos:

Indicador de ângulo de ataque



FONTE: FAA-H-8083-25B (2016)



FONTE: airfactsjournal.com

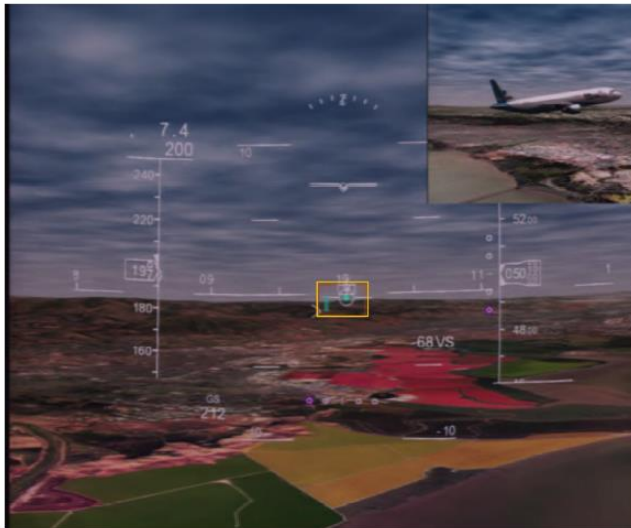


FONTE: flaps2approach.com

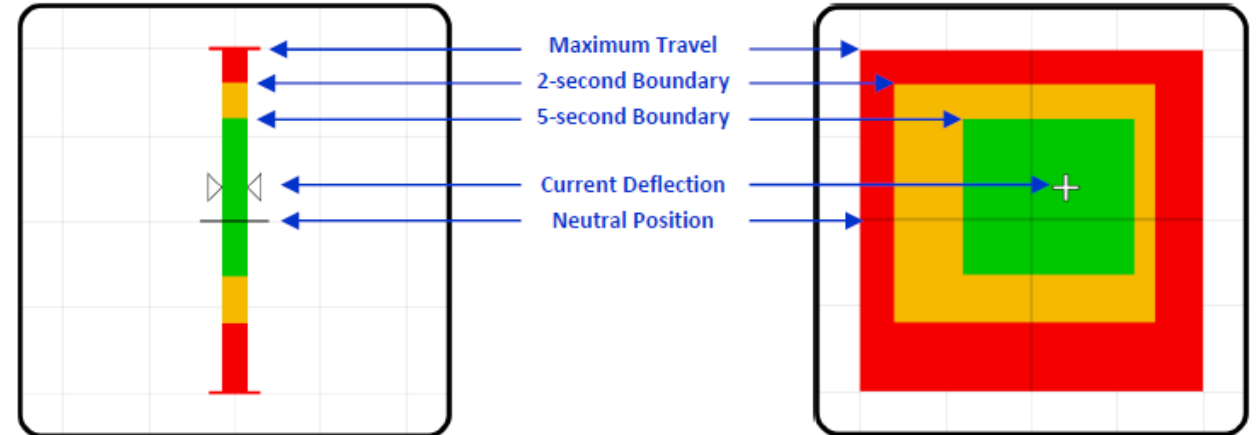
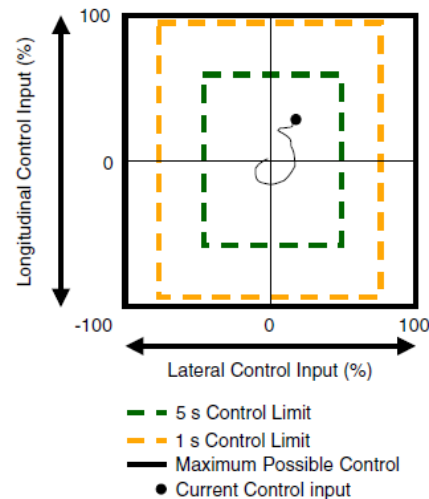
- Como forma de tentar aumentar a consciência situacional da tripulação, “reintroduzir” o piloto no loop de controle e elevar os patamares de segurança de voo, inclusive na tentativa de reduzir ocorrência LOC-I, discute-se na atualidade a possibilidade de incorporação de novos instrumentos na cabine de comando.

- Exemplos:

Envelopes do uso de comando de voo



FONTE: Stepanian, V. et al. (2016)
doi.org/10.2514/1.G001731



FONTE: Rafi, M. et al. (2017)
doi.org/10.2514/6.2017-1716

- Como forma de tentar aumentar a consciência situacional da tripulação, “reintroduzir” o piloto no loop de controle e elevar os patamares de segurança de voo, inclusive na tentativa de reduzir ocorrência LOC-I, discute-se na atualidade a possibilidade de incorporação de novos instrumentos na cabine de comando.
- Exemplos:

Indicadores de “o que fazer”



FONTE: Richerds, N. D. et al. (2018)
doi.org/10.2514/6.2018-1864