

# SAA0167

## Princípios de Aviônica e Navegação

### Instrumentos Digitais de Indicação de Atitude

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto

[jhbidi@sc.usp.br](mailto:jhbidi@sc.usp.br)

- **Introdução**
- **Instrumentos para Controle de Atitude**
- **Recursos de Auxílio ao Voo**
- **Cross-check**
- **Recuperação de Atitudes Não Usuais**
- **Falhas de Sistemas**

- **Introdução**
- Instrumentos para Controle de Atitude
- Recursos de Auxílio ao Voo
- Cross-check
- Recuperação de Atitudes Não Usuais
- Falhas de Sistemas

- Uma das maiores tendências da aviação atual é o conceito de glass cockpit, onde é maximizado o uso de telas de LCD para indicação, chamados EFD (Electronic Flight Display)
- As indicações de EICAS podem ser dadas em uma tela específica ou em parte do PFD ou MFD. O importante é que essas informações não podem ser suprimidas
- Essa filosofia possui algumas grandes vantagens:
  - Interface mais atraente e de simples interpretação
  - Possibilidade de juntar várias indicações diferentes em uma mesma interface
  - Acessar uma grande diversidade de informações mudando o display
  - Cockpit visualmente mais “limpo”

- A grande desvantagem dessa filosofia é a dependência do sistema elétrico
- Por esse motivo, alguns instrumentos convencionais (ou analógicos) devem estar presentes no cockpit, como backup
- Na condição de backup, apenas os instrumentos do “T básico” são necessários, e a posição deles pode variar
- Por isso, o uso de EFDs não exclui a necessidade de se saber interpretar instrumentos analógicos

- **Air Data Computer (ADC)**
- Computador que recebe e processa as informações dos sensores anemométricos, calculando Altitude, IAS, TAS e temperatura ambiente
- Fornece informações para vários outros sistemas eletrônicos da aeronave



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- **Attitude and Heading Reference System (AHRS)**
- Tendência moderna de substituição dos sistemas giroscópicos
- Responsável por duas informações:
  - Indicar quando a aeronave está estabilizada
  - Indicar pra que lado é o Norte
- Pra isso o sistema utiliza um conjunto de Ring Laser Gyros (RLGs), formando um sistema inercial
- O uso desse sistema dispensa a utilização de giroscópios convencionais
- Este sistema também tem a capacidade de integrar magnetômetros e receptores de sinal de satélite

- **Attitude and Heading Reference System (AHRS)**
- O sistema não dispensa o uso de bússola magnética como backup e nem sistemas anemométricos



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)



- A tela principal é o PFD



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- *Primary Flight Display (PFD)*
- Sistema que fornece ao piloto toda a consciência situacional da navegação, reunindo em uma única tela todos os instrumentos mais importantes: horizonte, altitude, velocidade, velocidade vertical, proa, arfagem e rolamento



FONTE: flightliteracy.com

- *Primary Flight Display (PFD)*
- Alguns sistemas possuem o recurso de Synthetic Vision, que substitui o chão marrom pela imagem da região que se está sobrevoando (vinda de uma base de dados do sistema)



FONTE: aviationtoday.com



FONTE: planeandpilotmag.com



- A tela auxiliar é o MFD



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- *Multi-Function Display (MFD)*
- De forma adicional ao PFD, aeronaves modernas possuem também o MFD, que fornece informações gerais sobre a navegação (mapas, cartas de navegação, etc.), sobre a aeronave (sistemas, condições, etc.) e sobre o voo (meteorologia, informações básicas, etc.)
- Pode servir inclusive como backup do PFD





- *Multi-Function Display (MFD)*



FONTE: xflight.de



FONTE: southernstar.aero

- *Multi-Function Display (MFD)*



FONTE: rapp.org



FONTE: flight1tech.com



- Ambas as telas são reversíveis



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Instrumentos analógicos utilizados como backup



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Da mesma forma, os instrumentos se dividem em:
  - Instrumentos de Controle
  - Instrumentos de Desempenho
  - Instrumentos de Navegação

- Introdução
- **Instrumentos para Controle de Atitude**
- Recursos de Auxílio ao Voo
- Cross-check
- Recuperação de Atitudes Não Usuais
- Falhas de Sistemas

- Instrumentos de Controle



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)



- Instrumentos de Desempenho



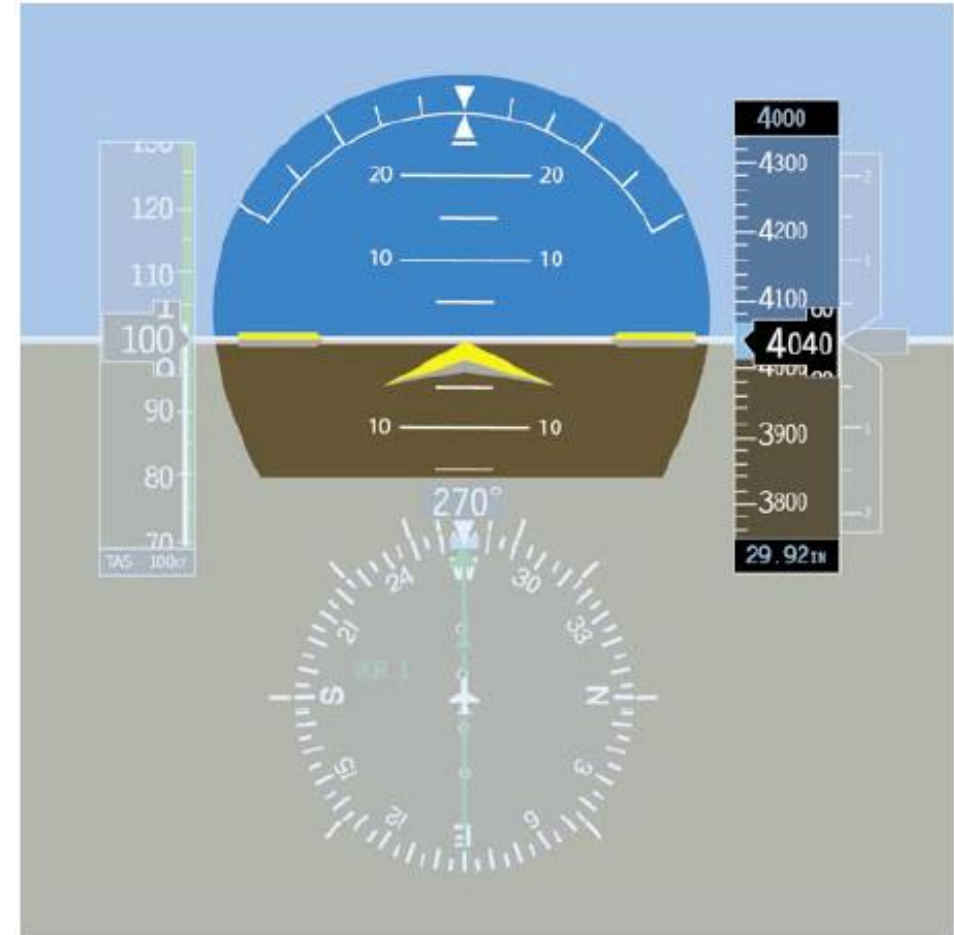
FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

- Instrumentos de Navegação



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

- *Controle de Arfagem*
- Visualizado pelo horizonte artificial no PFD
- Graduado de 5 em 5 graus e com precisão de 0,5 grau



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

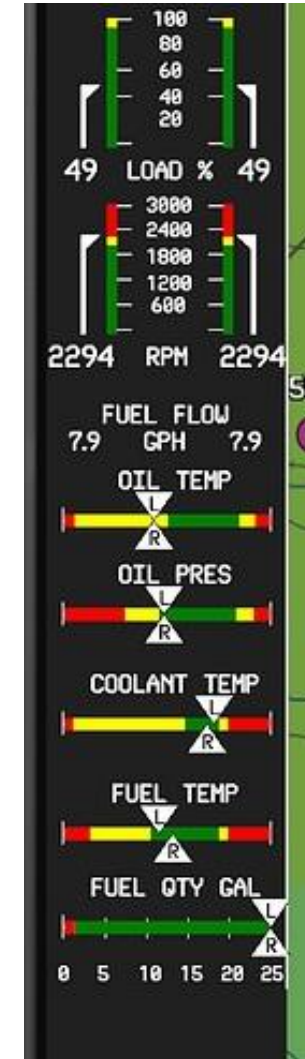
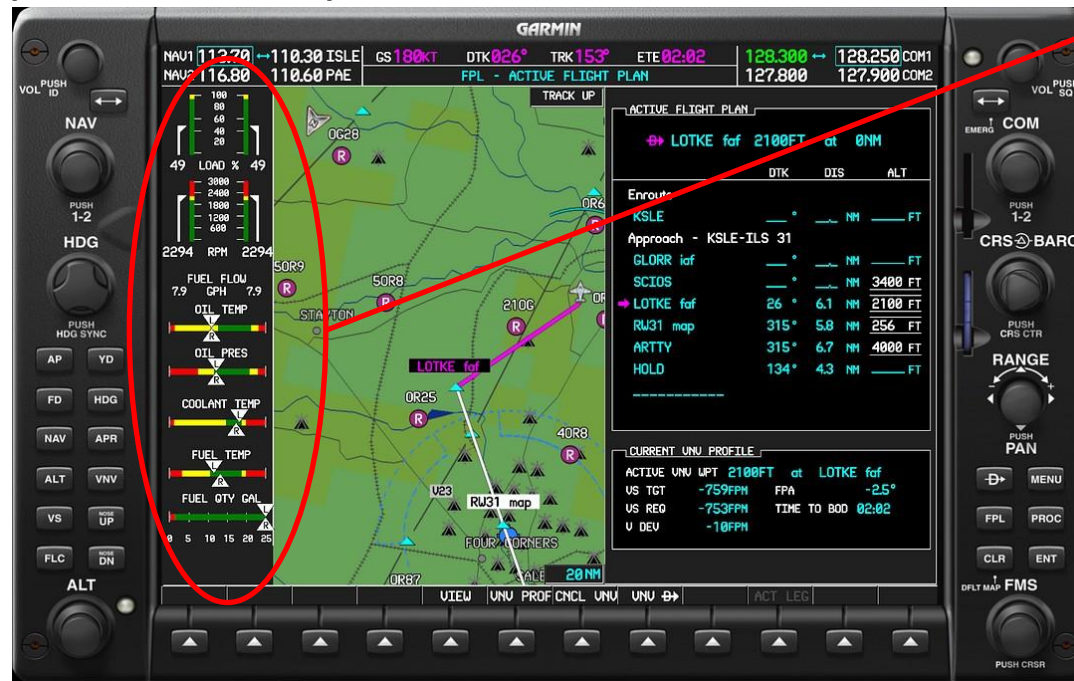


- *Controle de Rolamento*
- Visualizado pelo ponteiro e graduação de rolamento no PFD
- Adicionalmente a essa graduação, pode existir, na indicação de proa, uma marca para realização de curvas a 3 graus/segundo, considerada ideal para conforto



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

- *Controle de Potência*
- Da mesma forma que nos instrumentos analógicos, é impossível se medir a tração e arrasto, portanto utilizam-se parâmetros presentes no EICAS



FONTE: flight1tech.com

- *Engine Indicating and Crew Alerting System (EICAS)*
- Tela que fornece informações sobre os motores, comandos primários de voo e alertas de falhas para a tripulação



FONTE: simhq.com



FONTE: skybrary.aero

# Instrumentos para Controle de Atitude

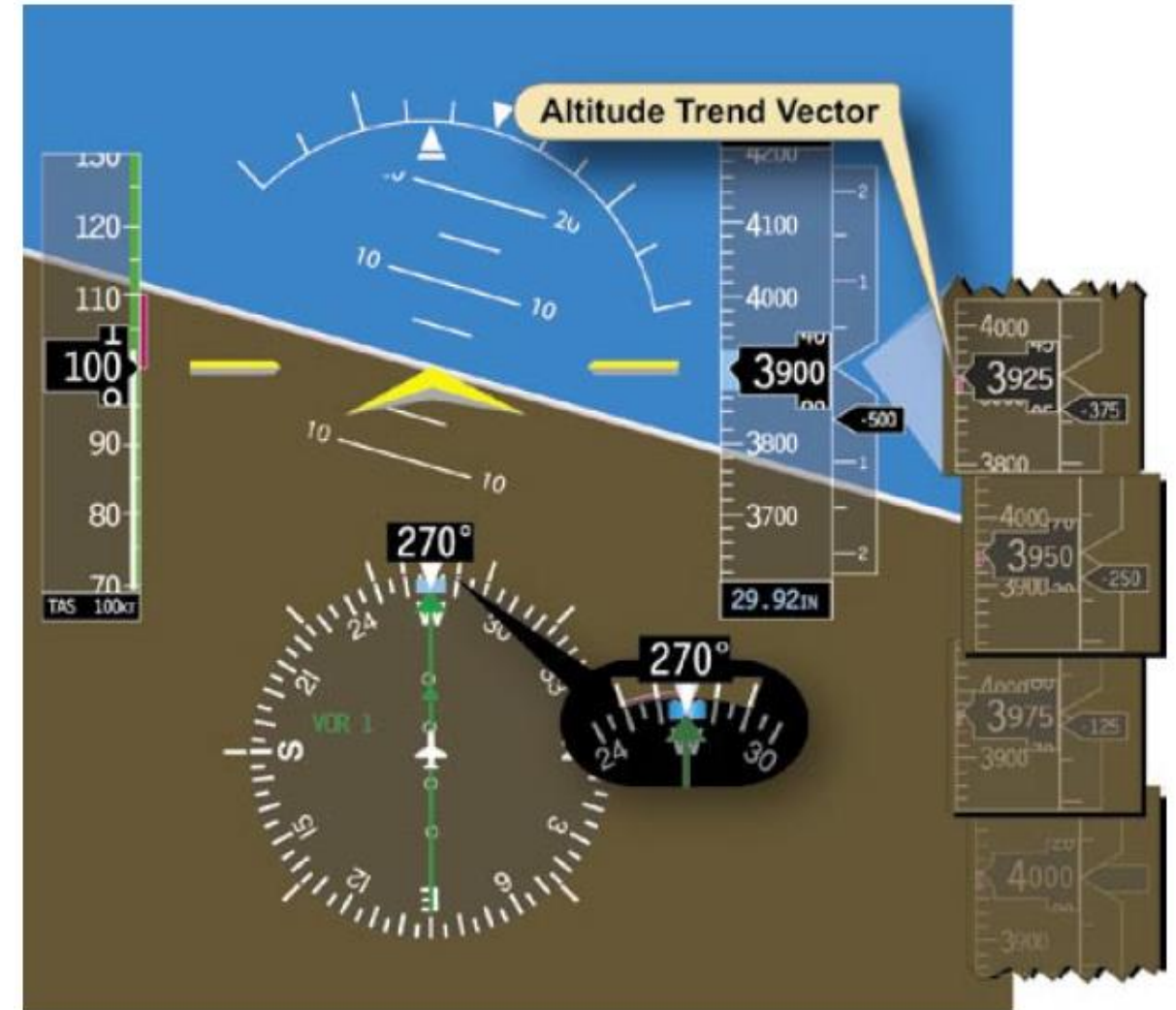


FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)



- *Controle Primário de Arfagem*
- O controle primário de arfagem, além do horizonte artificial, se dá pelo altímetro. Normalmente se posiciona a aeronave em velocidade constante e observa-se se há ganho ou perda de altitude, exigindo correção em arfagem
- Vale a mesma regra de pequenas correções de altitude: para se corrigir 100 ft, coloca-se 200 fpm no VSI
- Outros instrumentos atuam como secundários, fornecendo tendências de mudança na atitude, como velocidade e velocidade vertical

- *Controle Primário de Arfagem*
- Indica a condição que a aeronave estará após 6 segundos



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

- *Controle Primário de Rolamento*
- O controle primário de rolamento se dá pelo horizonte artificial
- Como controle secundário, pode-se utilizar o indicador de proa e a bússola magnética

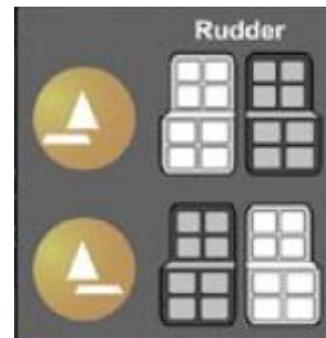
- *Controle Primário de Guinada*
- O único instrumento que fornece uma leitura (ainda que pouco precisa) de guinada/derrapagem é o slip/skid indicator



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

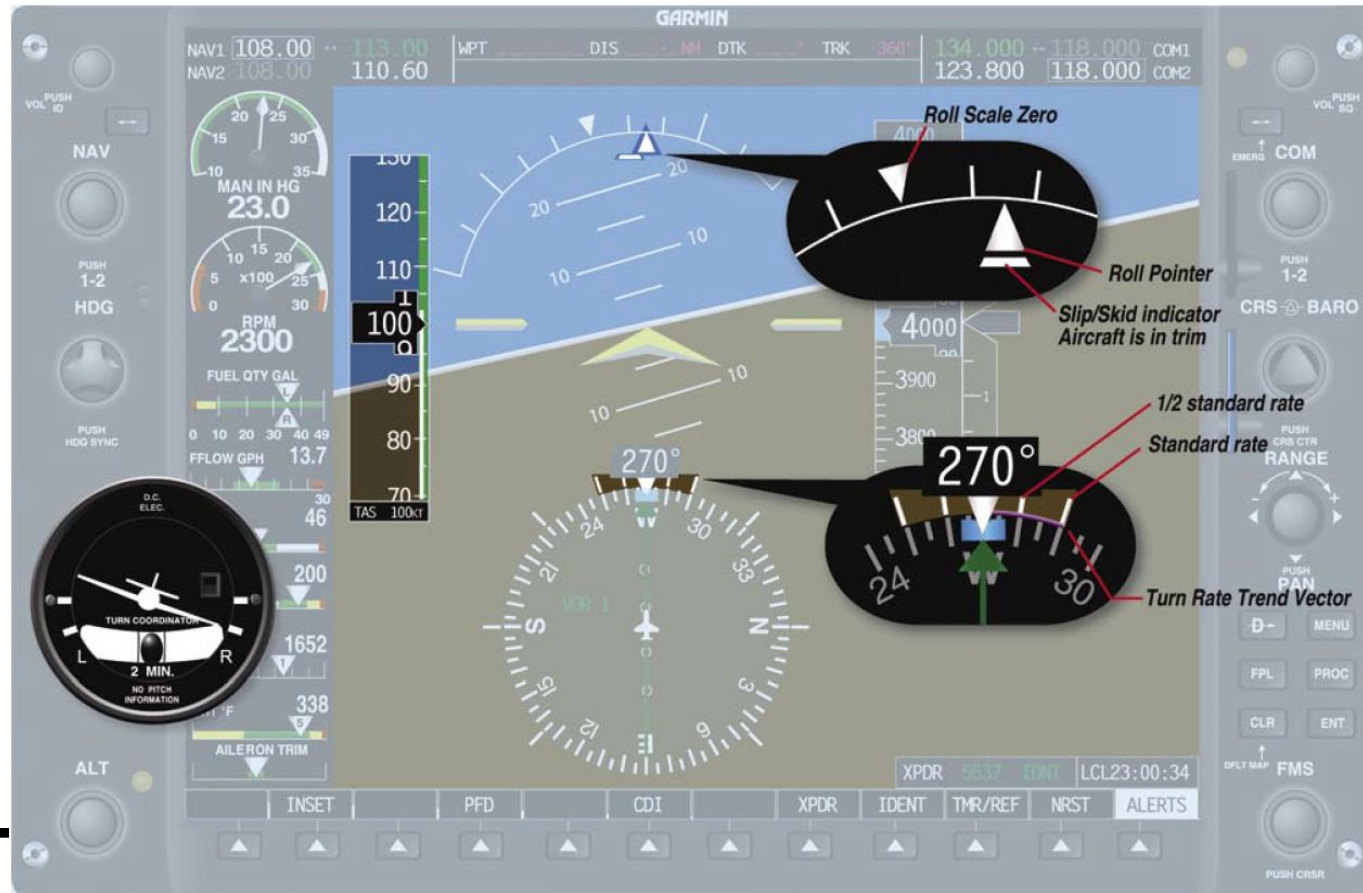


FONTE: avsim.com





- *Controle Primário de Potência*
- O controle primário de potência se dá pela leitura da velocidade



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

- Introdução
- Instrumentos para Controle de Atitude
- **Recursos de Auxílio ao Voo**
- Cross-check
- Recuperação de Atitudes Não Usuais
- Falhas de Sistemas

- Escala de Curva Padrão
- Na indicação de proa, existe uma graduação para a realização de curvas consideradas ideais para conforto (variação de proa em 3 graus/segundo)

Razão de curva ideal

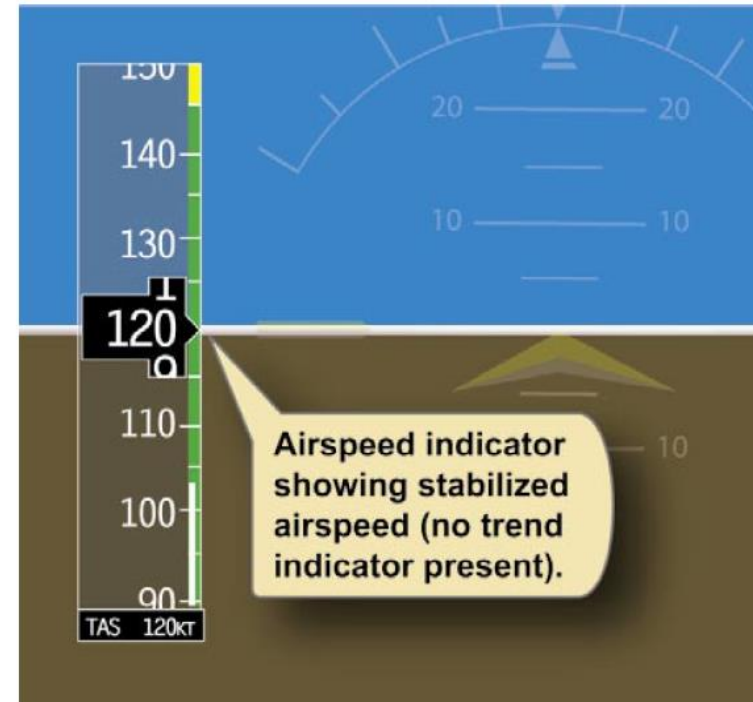
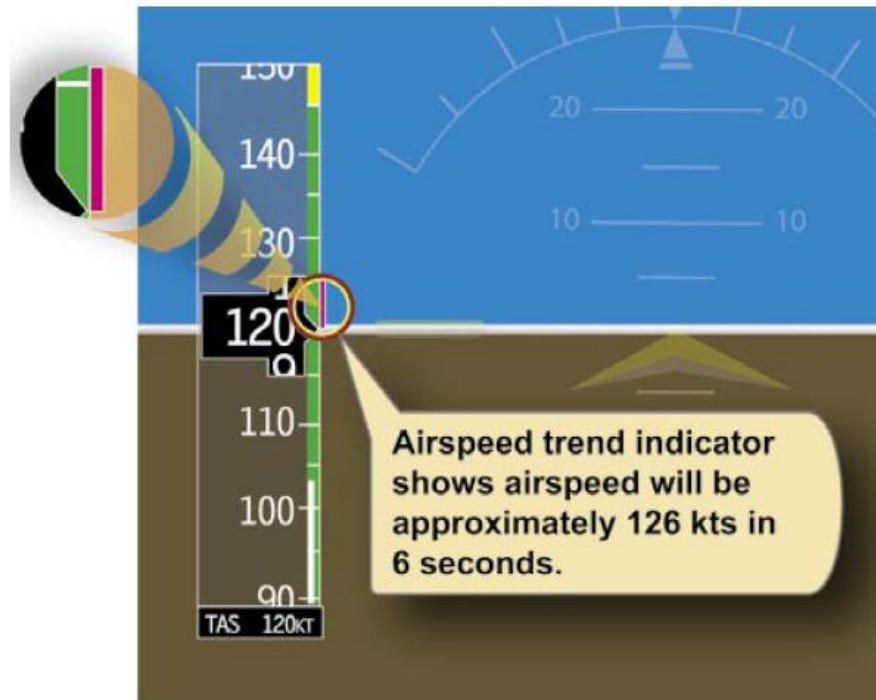


Utilizado em conjunto com o indicador de tendência de proa

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

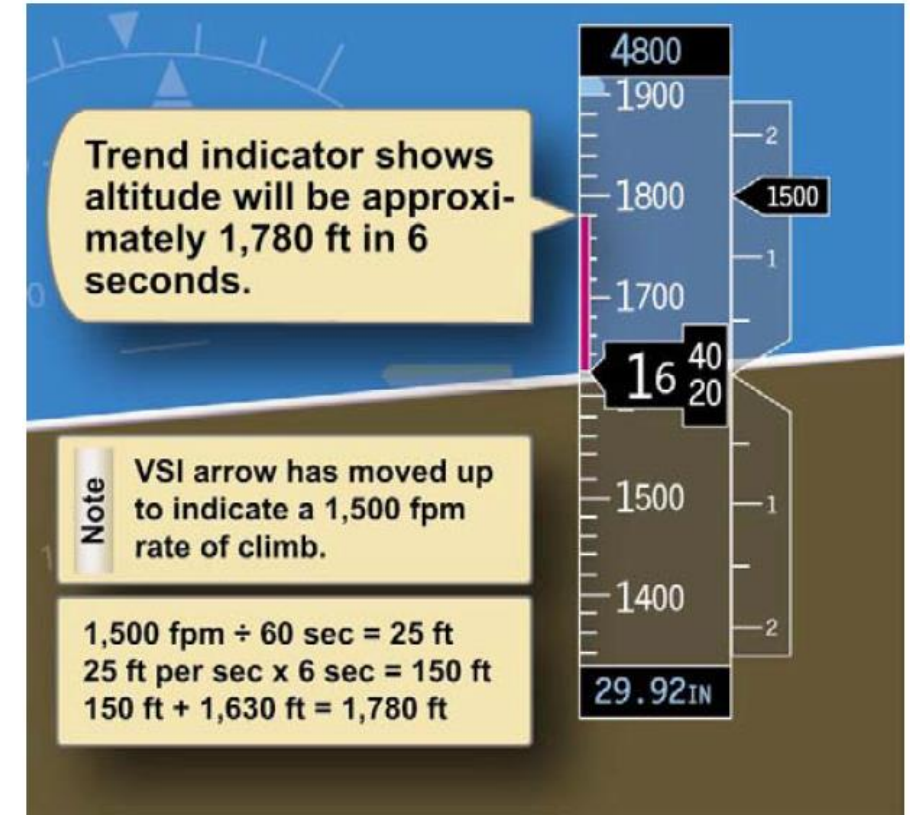
- **Indicadores de Tendência**
- Também chamados de Vetores de Tendência
- Recurso muito utilizado e que só se tornou possível graças à filosofia “Glass Cockpit”
- Tais vetores aparecem na indicação de velocidade, altitude e proa
- Consistem em linhas magenta que mostram, caso não haja mudança nos comandos da aeronave, qual vai ser a condição de velocidade, altitude e proa após 6 segundos

- Indicadores de Tendência
- Indicador de Tendência de Velocidade



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Indicadores de Tendência
- Indicador de Tendência de Altitude: a condição que a aeronave estará após 6 segundos



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)



- Indicadores de Tendência
- Indicador de Tendência de Proa



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Indicadores de Tendência
- Indicador de Tendência de Proa



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)



- **Flight Director System (FDS)**
- Combina vários instrumentos em um mesmo display digital, tendo como base a interface do ADI (nesse caso chamado Flight Director Indicator - FDI)
- Sistemas mais modernos recebem sinais de vários outros sistemas (HSI, ADC, etc.) a calcula a atitude e proa ideais para que a aeronave mantenha-se em uma determinada condição de voo
- Voo nessas condições não inclui atuação do piloto automático. Apenas um auxílio dos processadores da aeronave, que fornecem informações importantes para o voo

- Flight Director System (FDS)



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

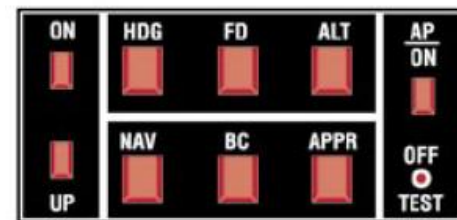
- Flight Director System (FDS)
- Em alguns casos o FDS inclui o HSI, o ADI, o painel de comandos do piloto automático e o painel de informações de navegação



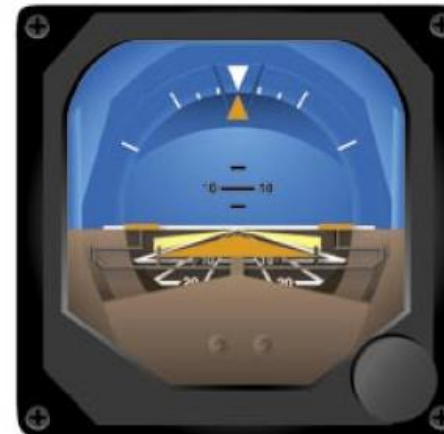
HSI



Annunciator Panel



Mode Controller



ADI

FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

- Introdução
- Instrumentos para Controle de Atitude
- Recursos de Auxílio ao Voo
- **Cross-check**
- Recuperação de Atitudes Não Usuais
- Falhas de Sistemas

- Deve ser uma atividade contínua, assim como na utilização de instrumentos analógicos
- Pela disposição dos instrumentos em uma tela digital, é sempre recomendado que se use o cross-check radial
- No caso de telas digitais, não esquecer de conferir os vetores de tendência
- Em condição de voo reto e nivelado, os vetores de tendência **NÃO DEVEM EXISTIR**
- Deve ser realizado cross-check também nos instrumentos backup

# Cross-check



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)



# Cross-check



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

# Cross-check



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

# Cross-check



FONTE: FAA-H-8083-15A (2008)

- Introdução
- Instrumentos para Controle de Atitude
- Recursos de Auxílio ao Voo
- Cross-check
- **Recuperação de Atitudes Não Usuais**
- Falhas de Sistemas

- Atitudes Não usuais em voo podem surgir de:
  - Turbulência
  - Desorientação
  - Falhas em instrumentos
  - Confusão
  - Preocupação com outras tarefas relacionadas ao voo
  - Cross-check falho
  - Erro na interpretação de instrumentos
  - Falta de habilidade/prática
- O reconhecimento de situações em atitude não-usual requer, na quase totalidade das vezes, o uso de instrumentos de voo
- Existem três tipos de proteção de atitudes não usuais em aviônica digital: nose-up, nose-down e alto rolamento



- **Atitudes Nose-up – reconhecimento**
- Aviônica digital possui recursos adicionais para reconhecimento de atitudes não-usuais, conforme será mostrado adiante



- **Atitudes Nose-up**
- Em atitudes deste tipo, o maior risco é a perda de velocidade, podendo levar ao stall
- Reconhecida uma atitude deste tipo, o procedimento de recuperação deve ser:
  - Abaixar o nariz/aumentar a potência de motor até que a velocidade volte a aumentar
  - Manter altitude de segurança
  - Corrigir o rolamento para o limite de  $\pm 5$  graus
  - Corrigir derrapagem
  - Cross-check

- Atitudes Nose-up



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Atitudes Nose-down



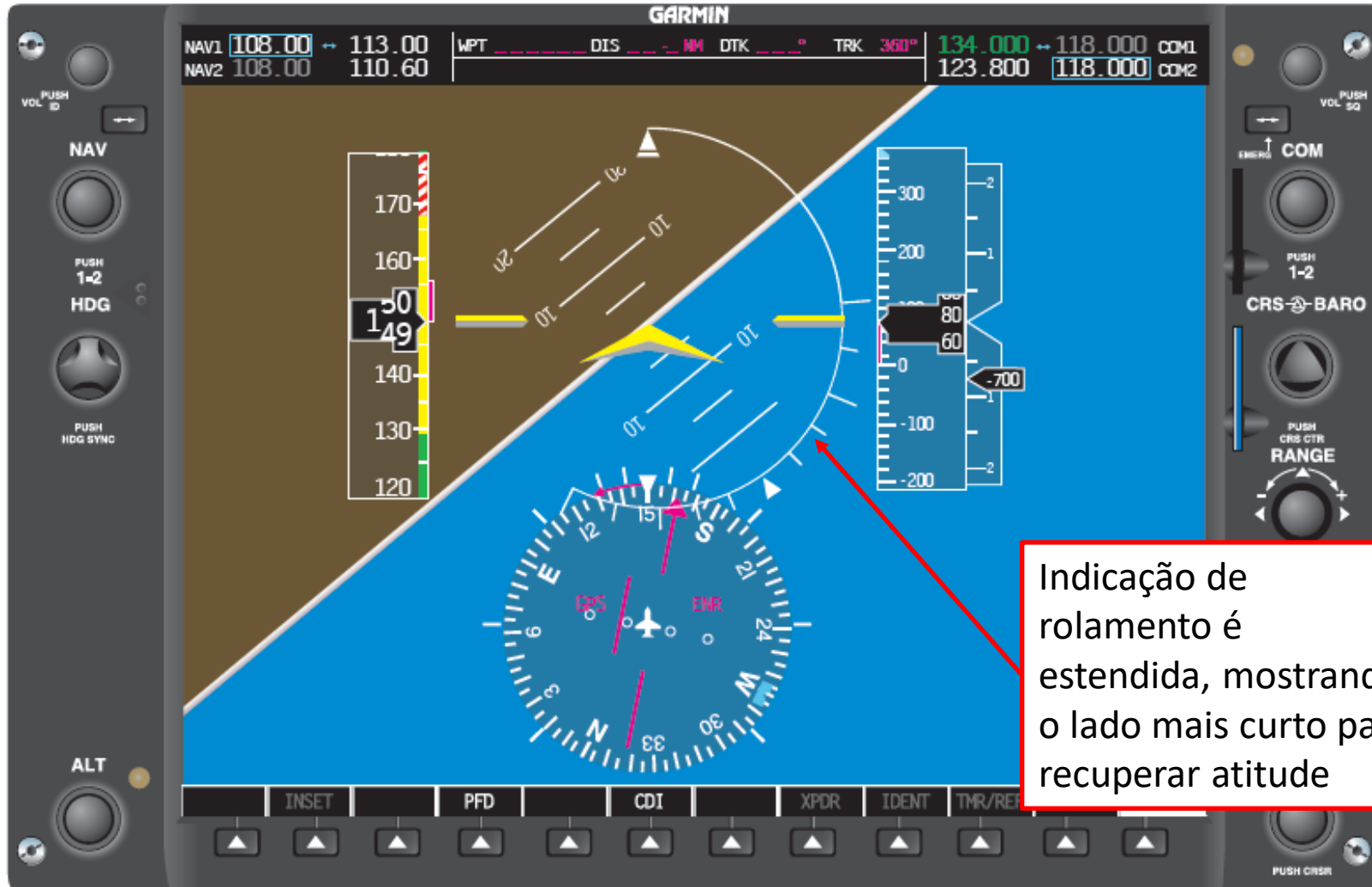
Faixa azul mostrando para que lado fica o horizonte

Setas vermelhas indicando para que lado a aeronave deve arfar para recuperação (essas setas surgem para arfagem abaixo de -27 graus)

FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- **Atitudes de Alto Rolamento**
- Quando o rolamento excede 60 graus, a indicação de ângulo de rolamento é estendida, indicando ao piloto qual é o caminho mais curto para recuperar a atitude

- Atitudes de Alto Rolamento



Indicação de rolamento é estendida, mostrando o lado mais curto para recuperar atitude

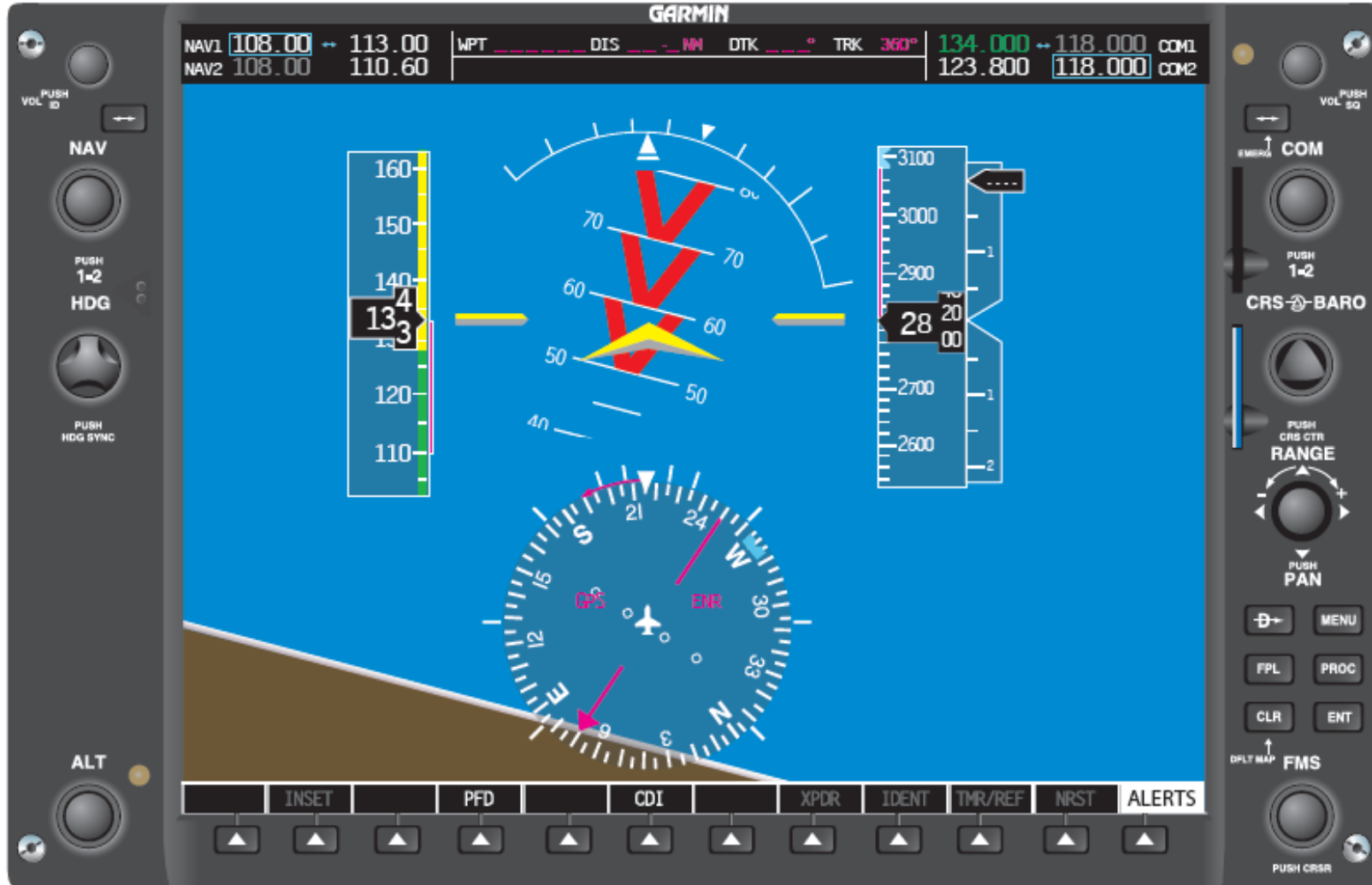
FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Introdução
- Instrumentos para Controle de Atitude
- Recursos de Auxílio ao Voo
- Cross-check
- Recuperação de Atitudes Não Usuais
- **Falhas de Sistemas**



- Por requisito de certificação, os sistemas devem ser capazes de perceber alguma falha neles próprios, ativar uma indicação de falha e se desativar automaticamente
- Em condições desse tipo, os instrumentos backup passam a ser as fontes primárias de informação

- Indicação com AHRS e ADC em funcionamento



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Indicação com falha no AHRS



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)

- Indicação com falha no AHRS e ADC



FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)





FONTE: [airliners.net](http://airliners.net)