

SAA0167

Princípios de Avionica e Navegação

Navegação por Rádio parte 2

Prof. Dr. Jorge Henrique Bidinotto
jhbidi@sc.usp.br

- **Introdução**
- **TACAN – Tactical Air Navigation**
- **VORTAC**
- **Radiogoniometria**
- **NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder**
- **LORAN – Long Range Navigation**
- **RNAV – Random Navigation**

- **Introdução**
- TACAN – Tactical Air Navigation
- VORTAC
- Radiogoniometria
- NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder
- LORAN – Long Range Navigation
- RNAV – Random Navigation

- Existem vários sistemas de auxílio a navegação, chamados de NAVAIDS (Navigational aids)
- Os sistemas mais tradicionais e ainda mais utilizados são os sistemas de Navegação por Rádio
- Serão abordados aqui os principais, sendo eles:
 - ✓ • VOR
 - ✓ • DME
 - TACAN
 - VORTAC
 - NDB/ADF
 - LORAN
 - RNAV

- Introdução
- **TACAN – Tactical Air Navigation**
- VORTAC
- Radiogoniometria
- NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder
- LORAN – Long Range Navigation
- RNAV – Random Navigation

TACAN – Tactical Air Navigation

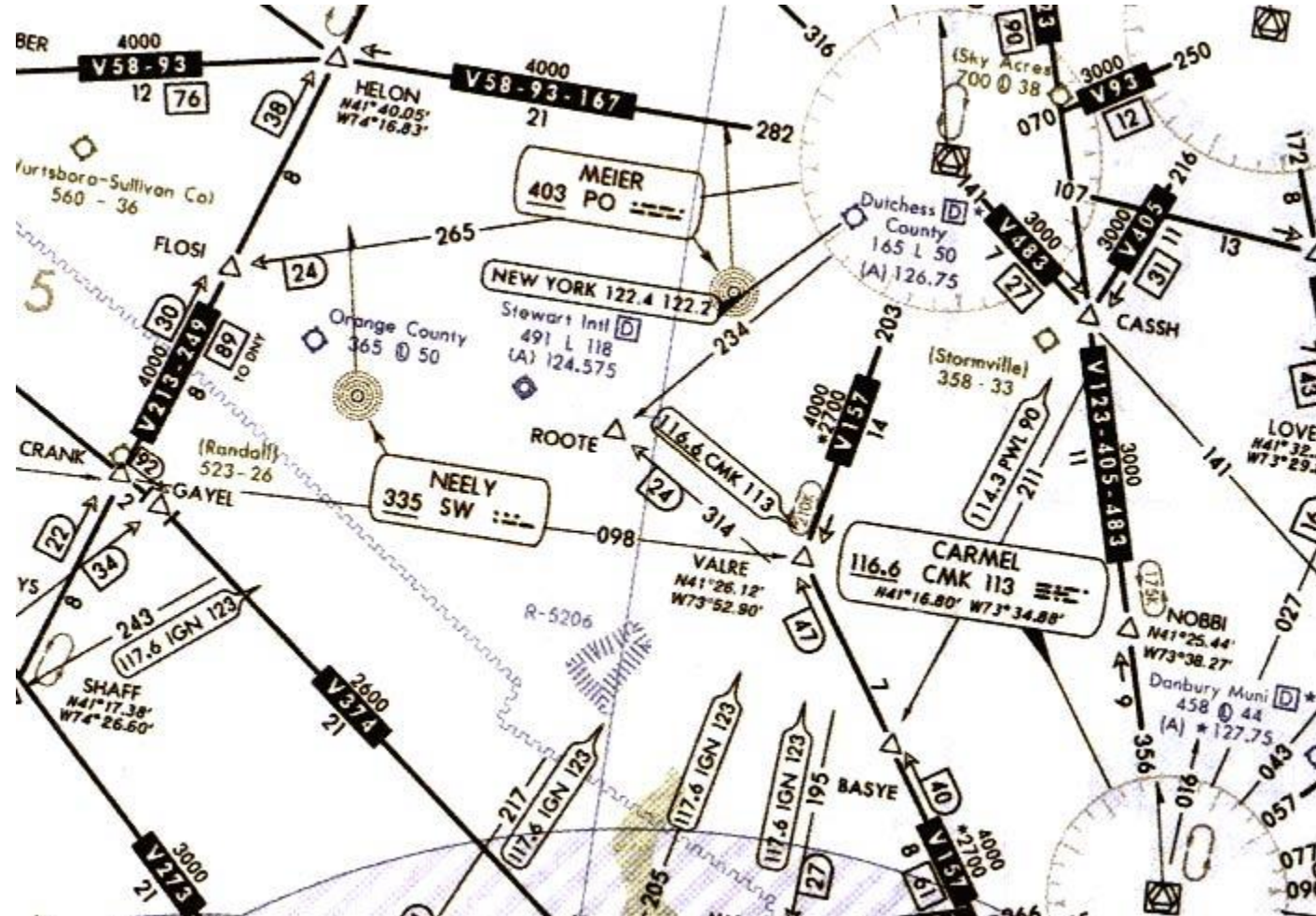
- É a versão militar do VOR/DME
- Opera, assim como o DME, com sinais baseados em pergunta e resposta (transponder) para medição de distância



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

FONTE: mudspike.com

TACAN – Tactical Air Navigation



FONTE: FAA

- Opera em UHF, nas mesmas frequências do DME:
 - As faixas de 962 a 1024 MHz e de 1151 a 1213 MHz são destinadas a emissões terra-ar
 - A faixa de 1025 a 1150 MHz são destinadas a emissões ar-terra

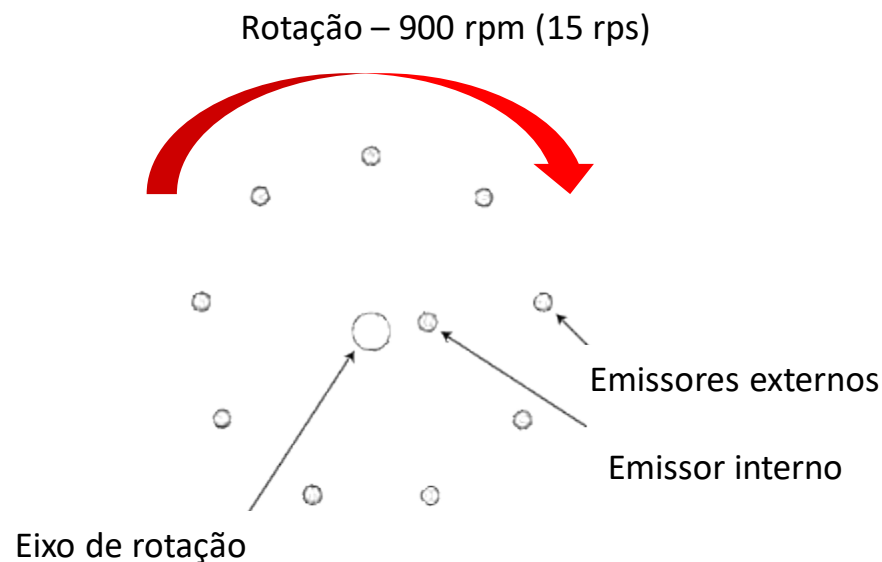


FONTE: airliners.net



FONTE: Wikipedia

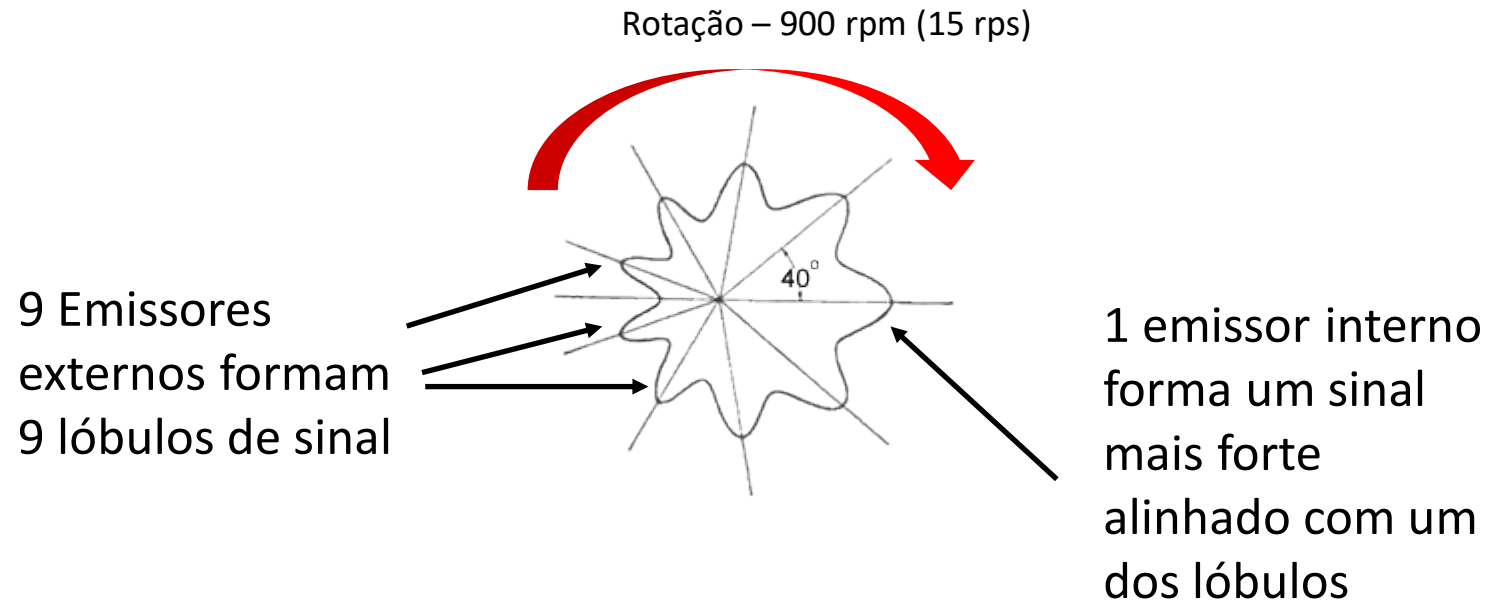
- O equipamento consiste em um disco giratório com 9 emissores externos e um emissor interno, rodando a 900 rpm



FONTE: pilotfriend.com

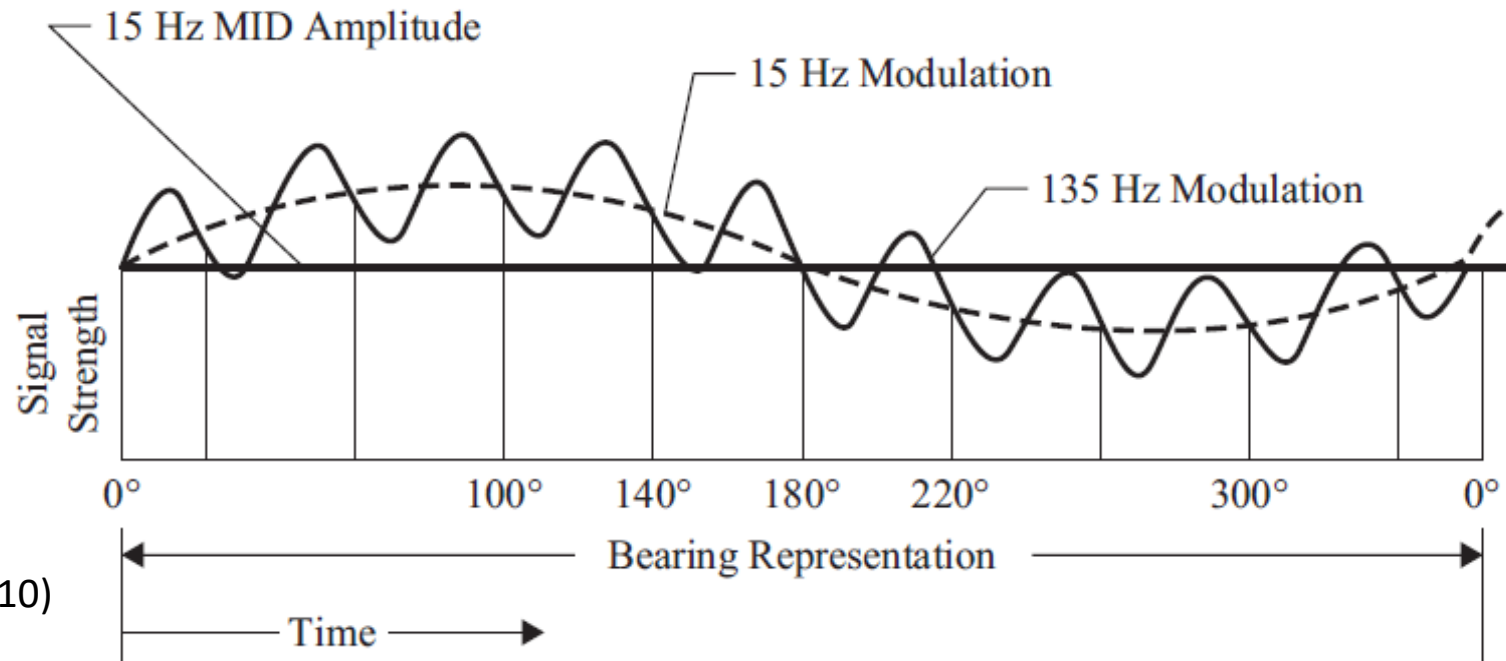
- Esses emissores transmitem continuamente o sinal UHF

- Este conjunto em rotação gera um sinal da seguinte forma



FONTE: pilotfriend.com

- Planificando esse sinal, tem-se:



FONTE: McShea, R. E. (2010)

- Ou seja, existem 2 sinais distintos: um a 15 Hz de modulação e o outro a 135 Hz de modulação

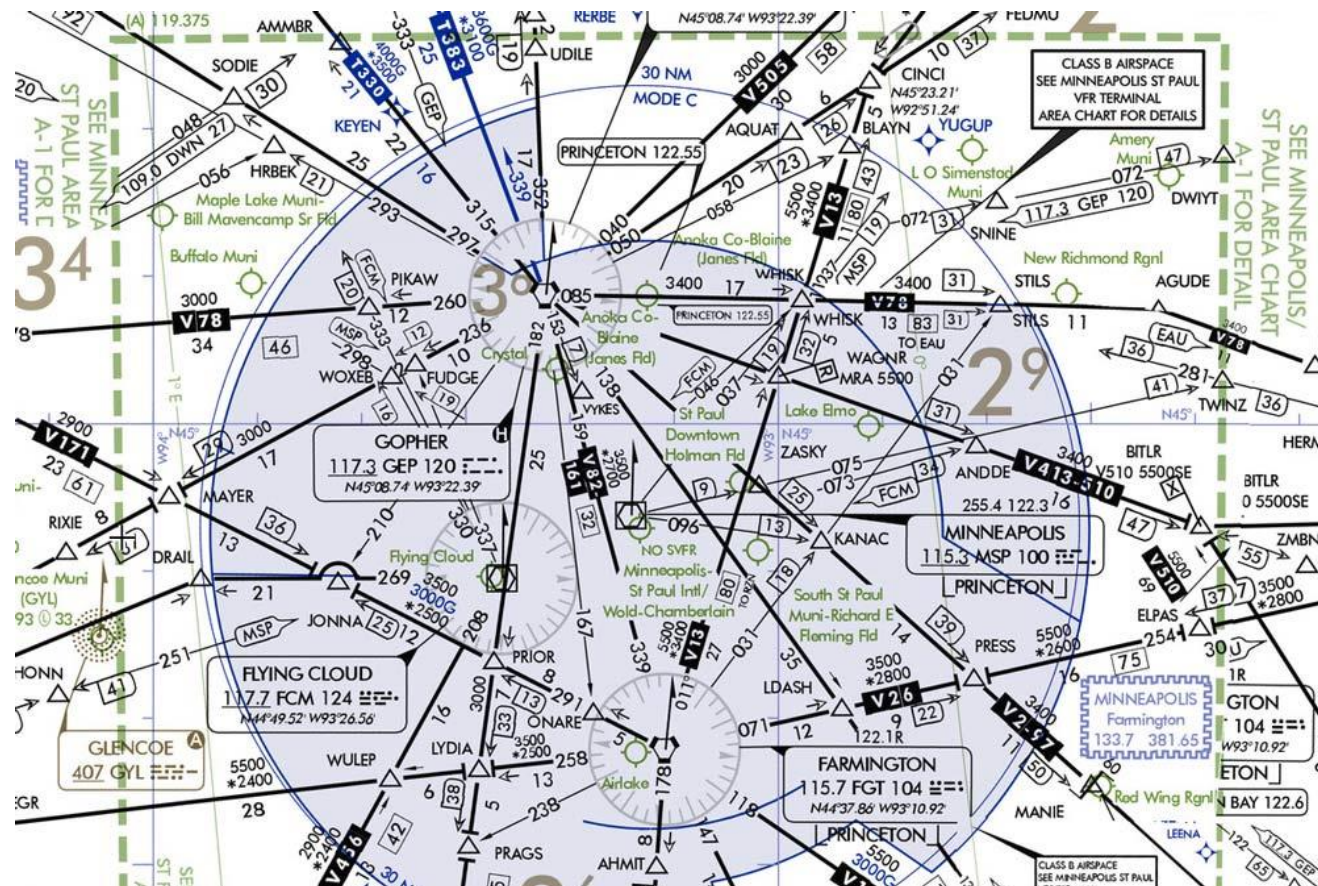
- O equipamento da aeronave, ao conectar-se com esse sinal duplamente modulado, mede a diferença de fase entre os dois sinais, identificando a radial onde a aeronave está localizada com uma precisão de $\pm 1^\circ$.
- A medição de distância se dá por um instrumento exatamente igual ao DME civil, já estudado nesta seção
- Seu alcance também é semelhante ao VOR e DME:
 - T (Terminal), de aproximadamente 25 NM
 - L (Low Altitude), de aproximadamente 40 NM
 - H (High Altitude), de aproximadamente 100 NM

- Introdução
- TACAN – Tactical Air Navigation
- **VORTAC**
- Radiogoniometria
- NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder
- LORAN – Long Range Navigation
- RNAV – Random Navigation

- Estação em solo que une, em uma mesma instalação, os NAVAIDS VOR e TACAN (o TACAN já possui o DME inserido)



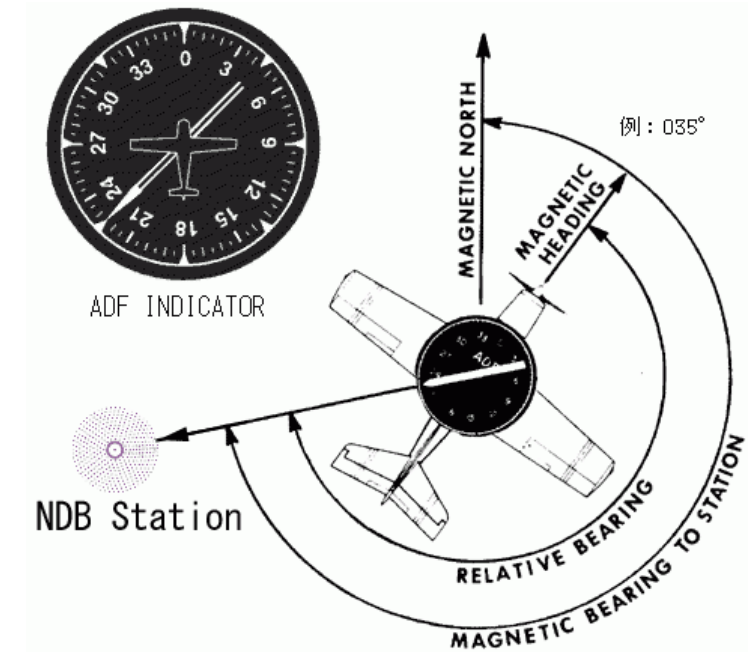
FONTE: FAA-H-8083-15B (2012)



FONTE: boldmethod.com

- Introdução
- TACAN – Tactical Air Navigation
- VORTAC
- **Radiogoniometria**
- NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder
- LORAN – Long Range Navigation
- RNAV – Random Navigation

- Consiste em se utilizar antenas para se localizar uma fonte de emissão de ondas de rádio
- A antena é omnidirecional e indica o lado em que a recepção de sinal de rádio é mais forte, o que significa que é a radial em que se encontra a fonte
- Essa técnica se originou no início do século XX e era muito utilizada durante guerras para se determinar a radial de uma aeronave que estava se aproximando



FONTE: avionicaets.com

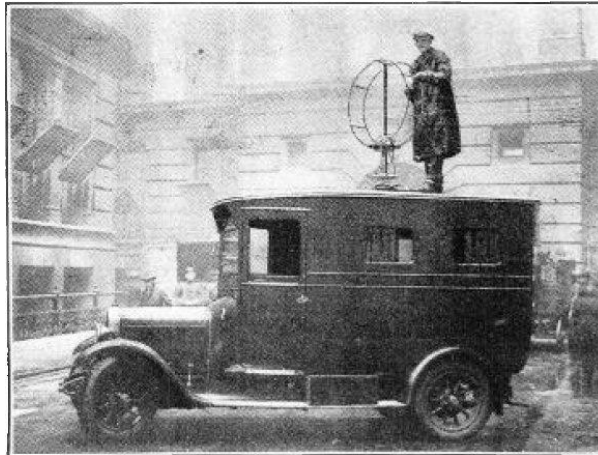
- Em inglês é conhecida como Radio Direction Finding (RDF)



FONTE: fazano.pro.br



FONTE: wikiwand.com



FONTE: wikiwand.com



FONTE:
rogeletrycradiotransmissores.blogspot.com

- Introdução
- TACAN – Tactical Air Navigation
- VORTAC
- Radiogoniometria
- **NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder**
- LORAN – Long Range Navigation
- RNAV – Random Navigation

- Baseado na navegação naval, que utiliza faróis em terra firme e utilizando o conceito de radiogoniometria, foi criado o NDB (Nondirectional Beacon)
- Foi o primeiro NAVAID criado e também utiliza o princípio das ondas de rádio
- Também conhecido como Radiofarol Não-Direcional
- Nomenclatura:
 - NDB (Nondirectional Beacon): Estação (antena emissora) em solo
 - ADF (Automatic Direction Finder): Equipamento a bordo da aeronave

Estações NDB



FONTE: Wikipedia

FONTE: airnav.eu

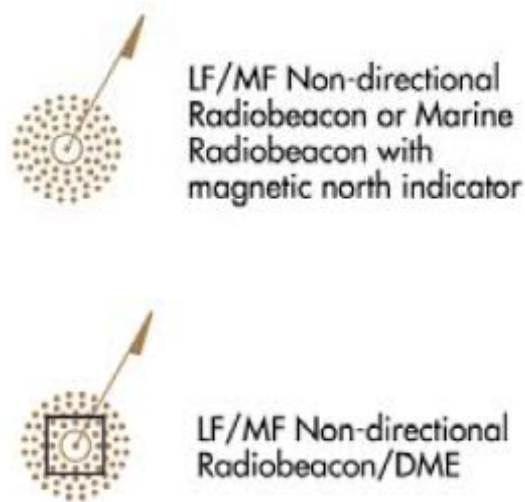


Equipamento ADF

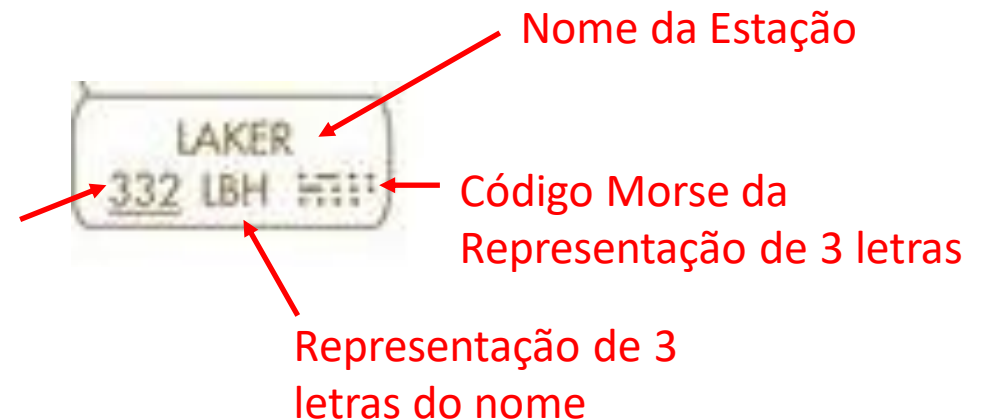


FONTE: Wikipedia

- Indicação em Cartas de Navegação
- A indicação se dá de forma semelhante aos outros, com a direção do Norte Magnético junto ao símbolo

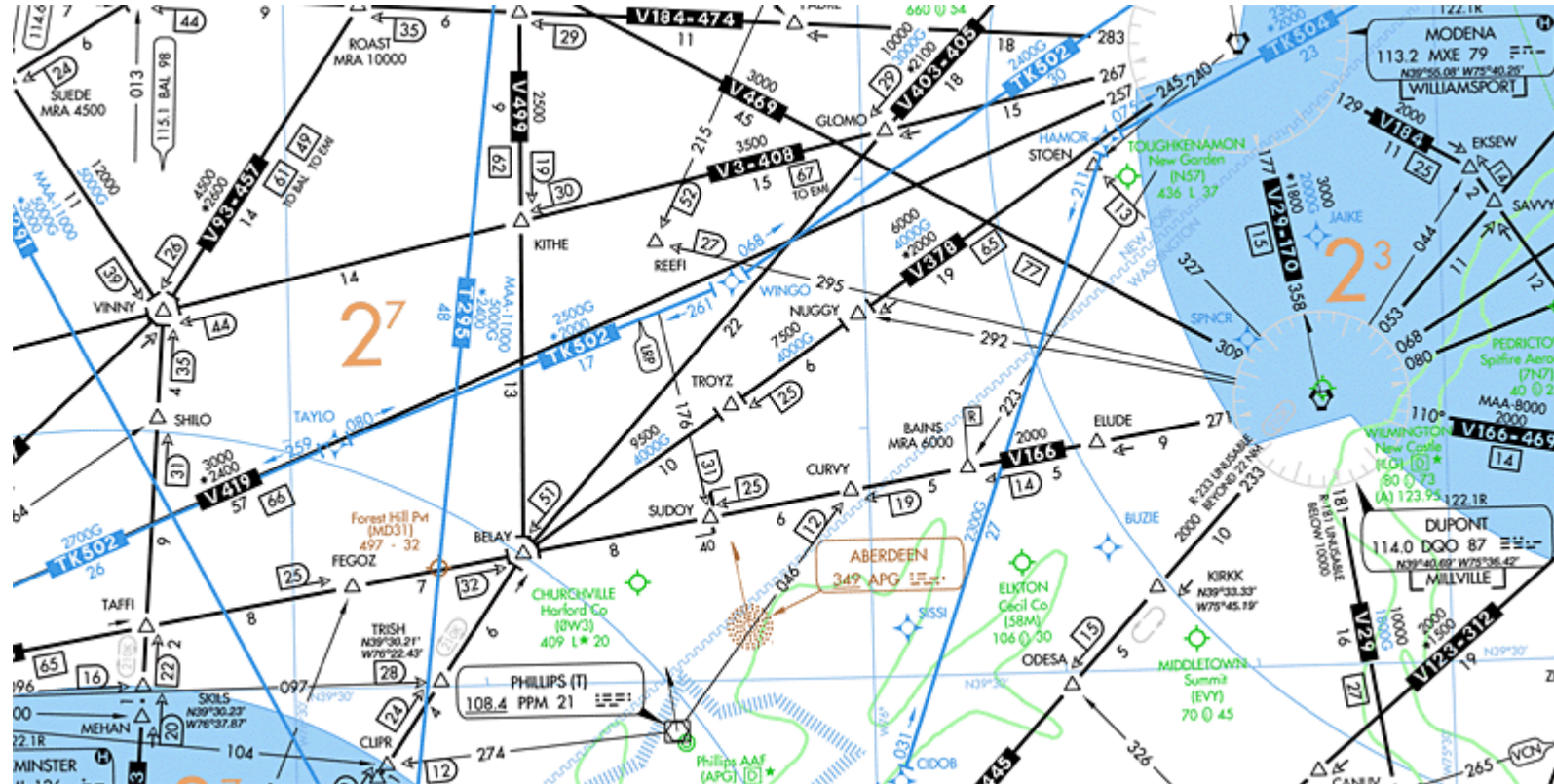


Frequência da
Estação, em kHz



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

- Indicação em Cartas de Navegação



FONTE: Wikipedia

- Funcionamento:
- Antena:



FONTE: Boeing

777 GENERAL – ANTENNA LOCATIONS

- **Funcionamento:**
- Non-Directional Beacon
- A estação NDB envia, para todas as direções, sinais de rádio de baixa e média frequência (LF e MF), entre 190 e 1750 kHz
- Classificação das estações NDB e alcance:
 - Estação MH – 25 NM
 - Estação H – 50 NM
 - Estação HH – 75 NM
- Como sua precisão é baixa e a manutenção é cara, as estações de NDB têm caído em desuso e estão gradualmente sendo desativadas
 - Nos EUA esse sistema já não é mais operado
 - No Brasil, está em curso um processo de desativação de todas as estações, iniciado em 2014 e com término previsto para 2020

- **Funcionamento:**
- *Automatic Direction Finder*
- O ADF presente na aeronave capta o sinal e indica a direção daquela estação, usando-a como referência, assim como um farol naval
- Por trabalhar em frequências mais baixas, o sistema está mais sujeito a erros e interferências
- O ADF também pode ser utilizado para troca de informações entre aeronaves e como rádio AM
- Por esses motivos, apesar da desativação das estações NDB, é provável que as aeronaves continuem possuindo sistema de ADF

- Funcionamento:
- Indicação de VOR e ADF em conjunto



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



FONTE: krepelka.com

- Introdução
- TACAN – Tactical Air Navigation
- VORTAC
- Radiogoniometria
- NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder
- **LORAN – Long Range Navigation**
- RNAV – Random Navigation

- Navegação por rádio utilizada para longas distâncias
- Consiste em uma rede de estações que atua basicamente no Hemisfério Norte
- Atua em frequência de 100 kHz, com modulação entre 90 e 110 kHz, podendo atuar em Ground Wave ou Sky Wave
- O sistema em operação atualmente é chamado de LORAN-C
- LORAN-A: Sistema original, desativado em 1980
- LORAN-B: Projeto impraticável, que foi descontinuado
- LORAN-D: Projetado para baixo alcance e baixa altitude, que também foi descontinuado

LORAN – Long Range Navigation

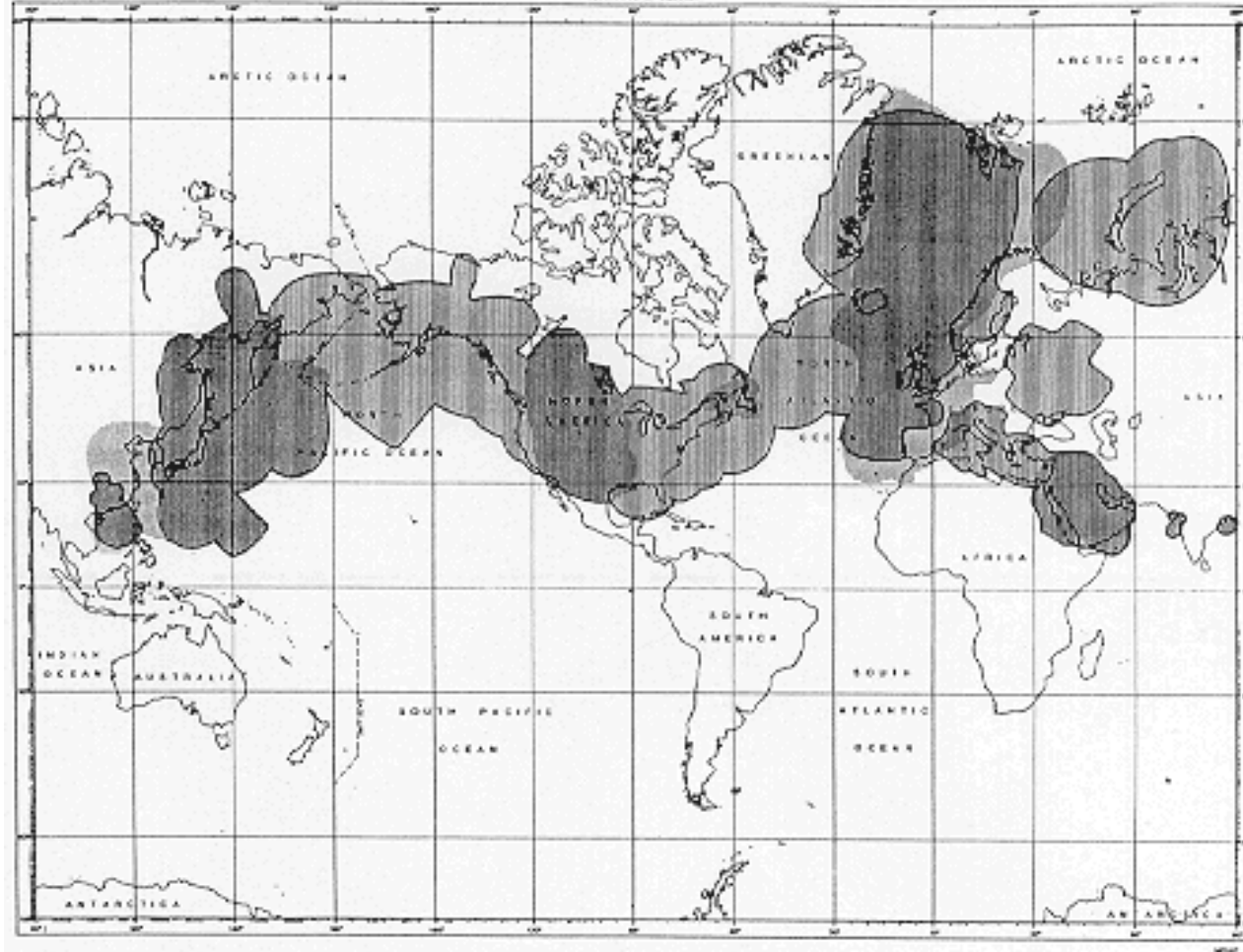
- Estações LORAN-C



FONTE: Wikipedia

LORAN – Long Range Navigation

- Cobertura LORAN-C

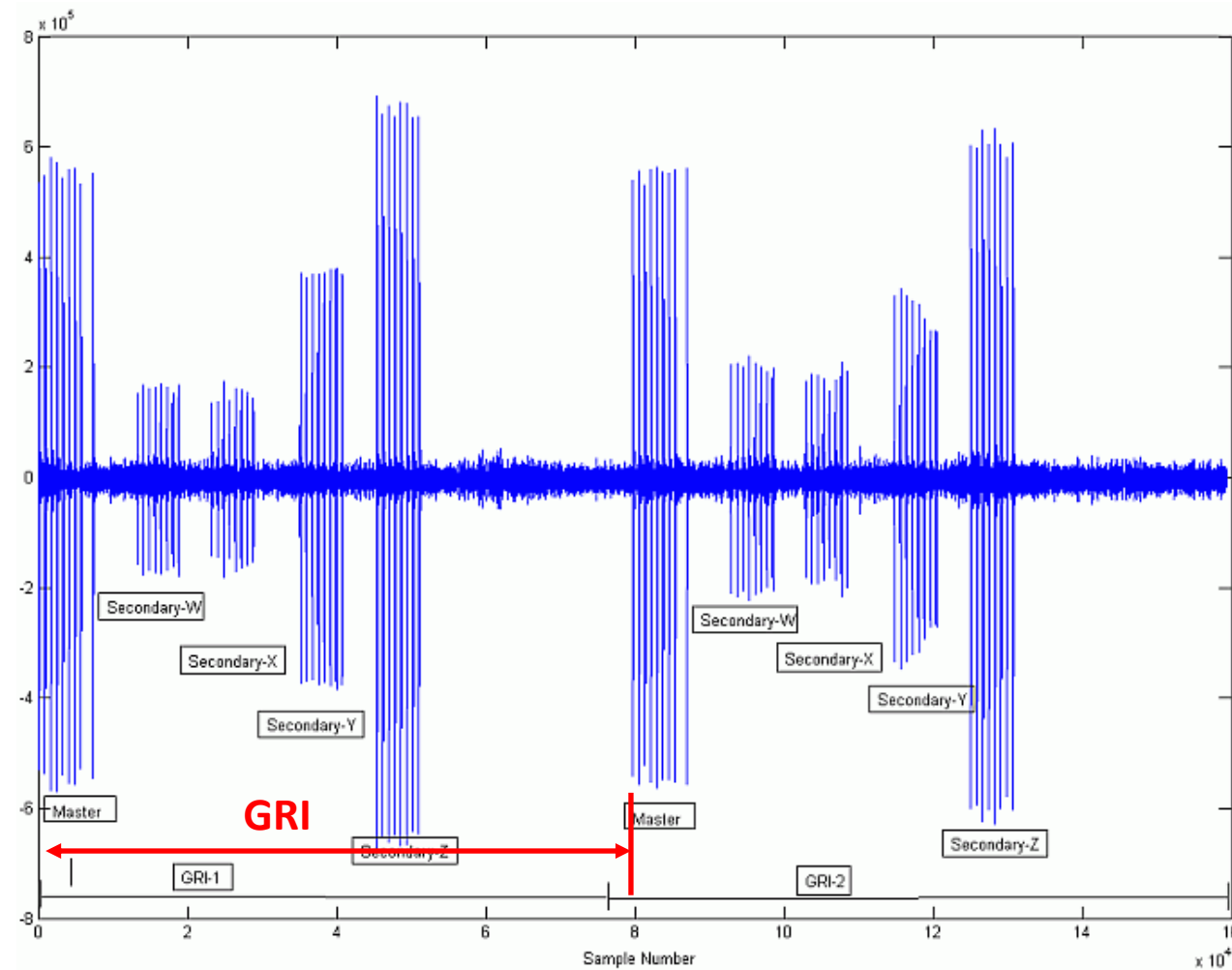


FONTE: jproc.ca

- **Funcionamento:**
- Todas as estações emitem um conjunto de pulsos a cada intervalo de tempo
- O tipo de conjunto de pulsos é único para cada estação. Ou seja: cada estação tem seu próprio perfil de pulsos
- O sistema na aeronave reconhece o padrão de pulsos e sabe qual estação está transmitindo
- Recebendo o sinal de ao menos 3 estações simultaneamente, é possível determinar o ponto no espaço que a aeronave se encontra, já que o sistema reconhece o sinal de cada estação e sabe sua localização exata

- **Funcionamento:**
- Ao receber o sinal de ao menos três estações simultaneamente, a estação que está geograficamente mais ao centro é chamada de estação Master, e as outras são as Slaves
- Dentro de um determinado intervalo de tempo, todas as estações sintonizadas enviam seus sinais, que consistem em um padrão único de 8 pulsos
- Este intervalo de tempo é chamado de GRI (Group Repetition Interval)

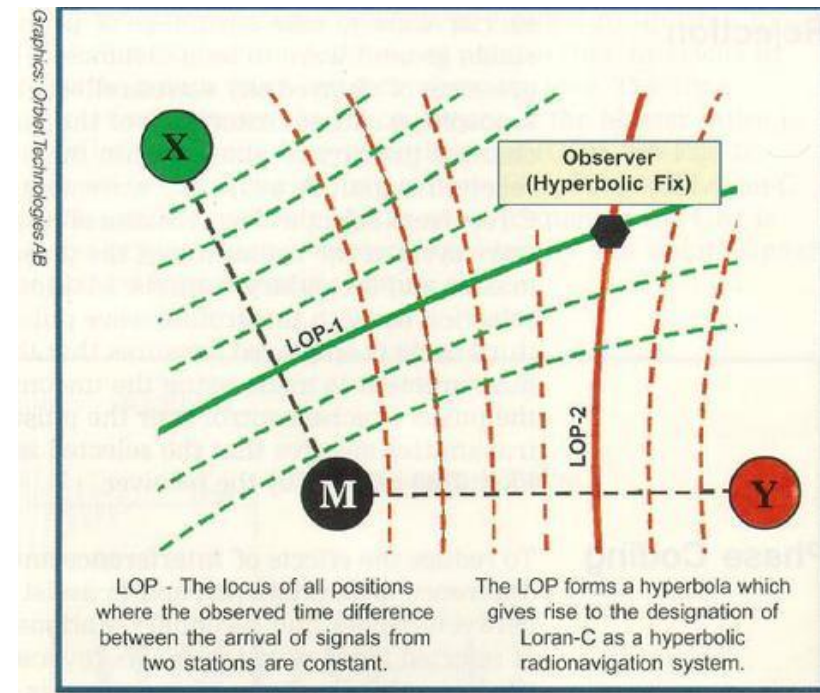
- Funcionamento:



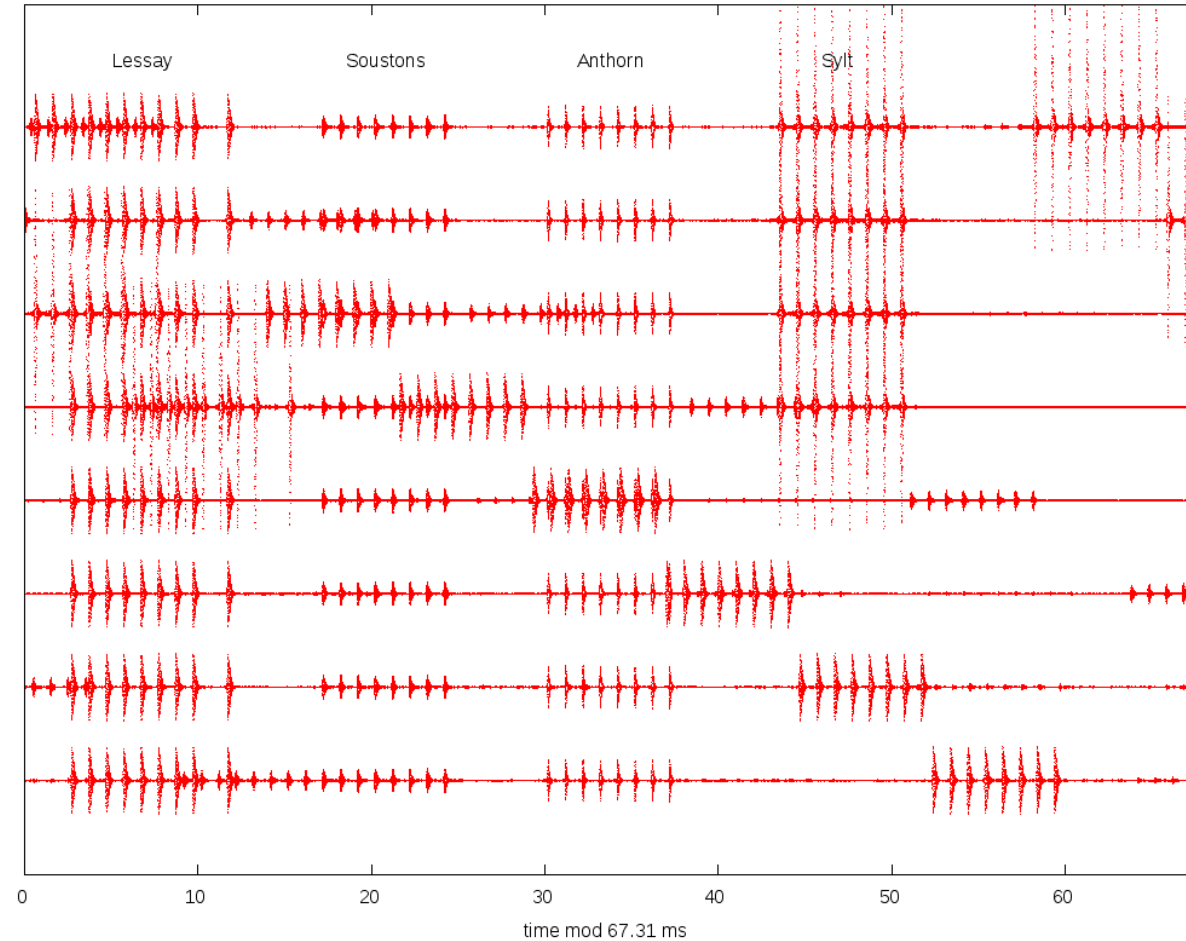
FONTE: personal.umich.edu

- **Funcionamento:**
- Reconhecendo o padrão de duas estações e o intervalo de tempo entre o sinal de ambas, é possível se determinar um lugar geométrico na forma de uma hipérbole, onde a aeronave possa estar
- Com uma terceira estação, este lugar geométrico se resume a um único ponto
- Por esse motivo, esse tipo de navegação também é chamado de Navegação Hiperbólica

FONTE: jproc.ca

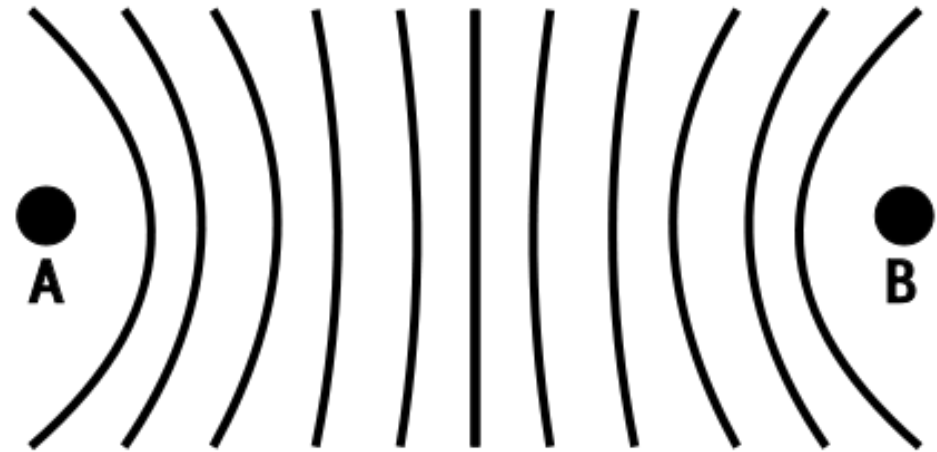


- **Funcionamento:**
- Exemplo de sinal LORAN recebido



FONTE: pa3fwm.nl

- **Funcionamento:**
- A acurácia do sistema depende muito de fatores meteorológicos, relevo e geometria formada entre as estações sintonizadas
- Para ondas Ground Wave, a precisão pode variar entre 400 ft a um alcance de 350 NM (melhor condição) e 1700 ft para um alcance de 100 NM (pior condição)
- O uso de Sky Wave aumenta o alcance, mas piora a precisão, sendo tipicamente de 10 NM para um alcance de 1500 NM



FONTE: Wikipedia

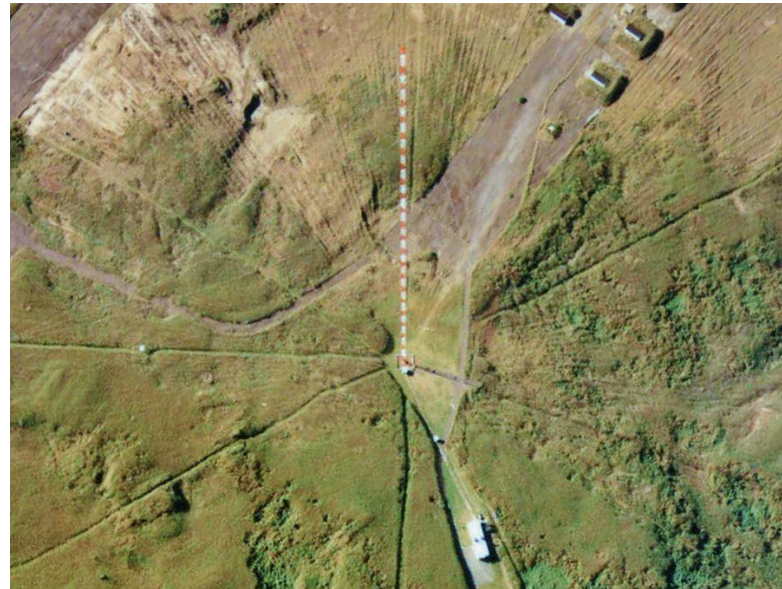
LORAN – Long Range Navigation

- Componentes e Considerações:
- Aparelho de LORAN-C



FONTE: Wikipedia

- **Componentes e Considerações:**
- As estações de LORAN consistem em antenas simples de transmissão, mas como o sinal é de baixa frequência, elas devem ser altas, para minimizar interferência com o relevo ou construções
- Algumas torres podem ultrapassar o 400 metros de altura!!



FONTE: Wikipedia

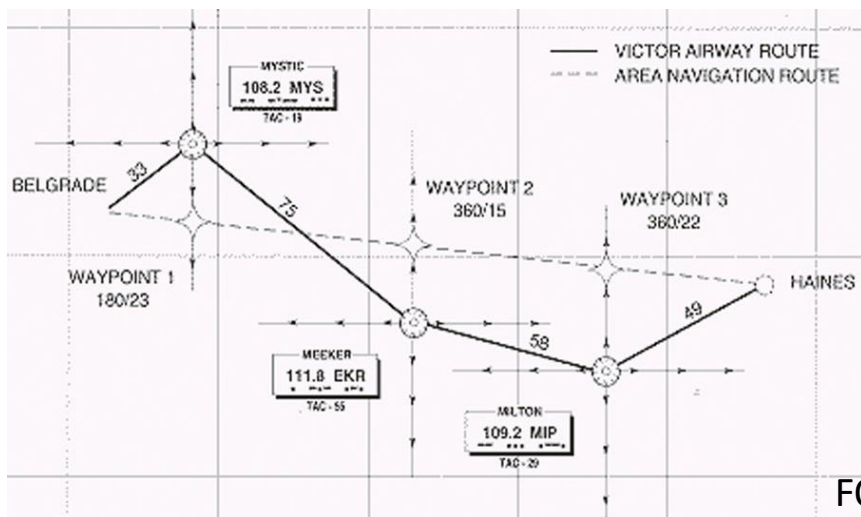


FONTE: capemayherald.com

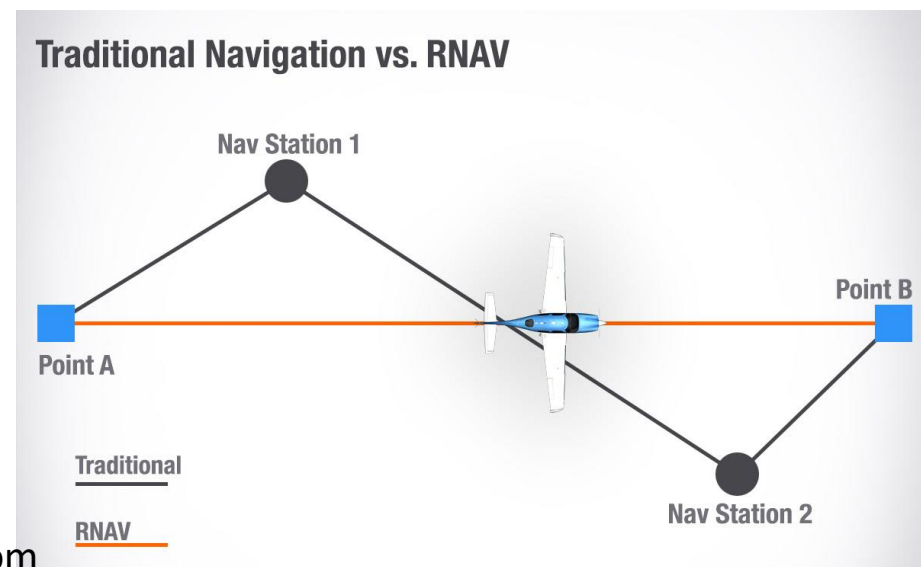
- **Componentes e Considerações:**
- Gradualmente, as estações estão sendo desativadas e existe a expectativa de que esse sistema seja descontinuado, sendo substituído pela navegação via satélite
- Não é um tipo comum de navegação. Normalmente é utilizado por aeronaves específicas

- Introdução
- TACAN – Tactical Air Navigation
- VORTAC
- Radiogoniometria
- NDB/ADF – Non-Directional Beacon/Automatic Direction Finder
- LORAN – Long Range Navigation
- **RNAV – Random Navigation**

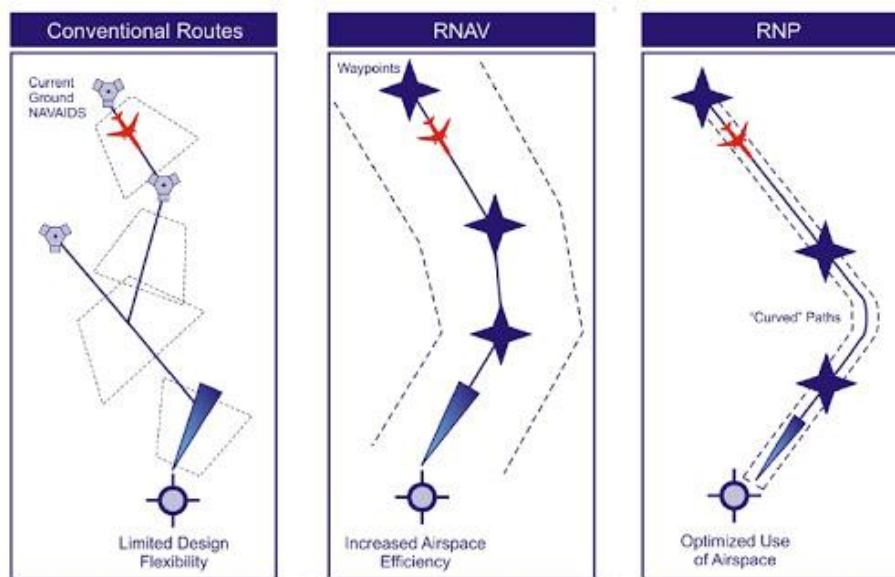
- Também conhecida como Area Navigation
- Sistema digital que integra e processa informações de vários NAVAIDS, gerando um plano de voo para a aeronave
- O uso desse instrumento permite se voar rotas em aerovias que não dependam de sobrevoo sobre os NAVAIDS



FONTE: boldmethod.com



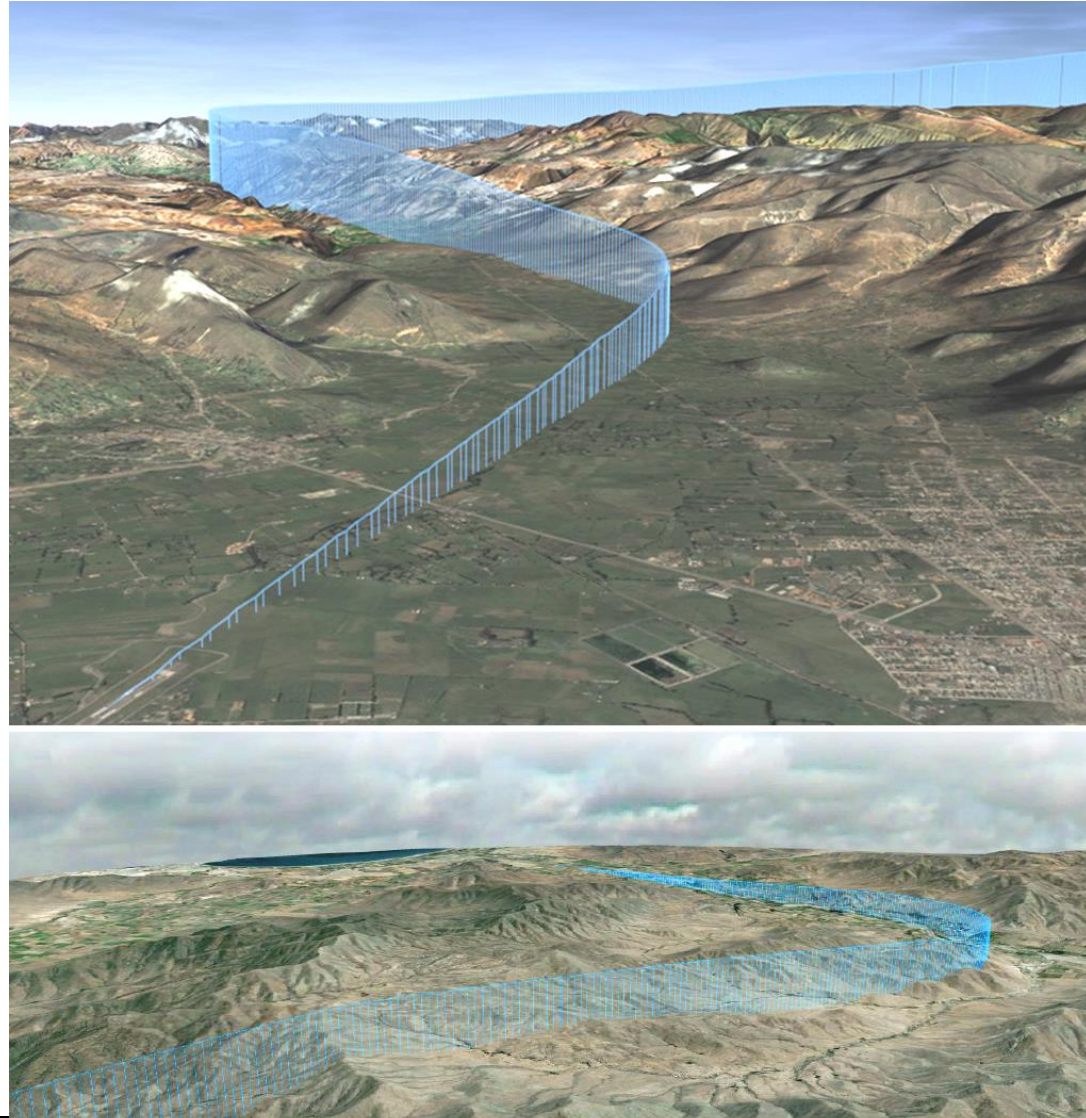
- O RNP (Required Navigation Performance), ou PBN (Performance-Based Navigation) é uma derivação do RNAV, que leva em consideração também a capacidade da aeronave de realizar manobras ou se planejar uma rota, decolagem ou aproximação
- É muito útil principalmente para o planejamento de pousos e subidas após decolagem



FONTE: aireform.com

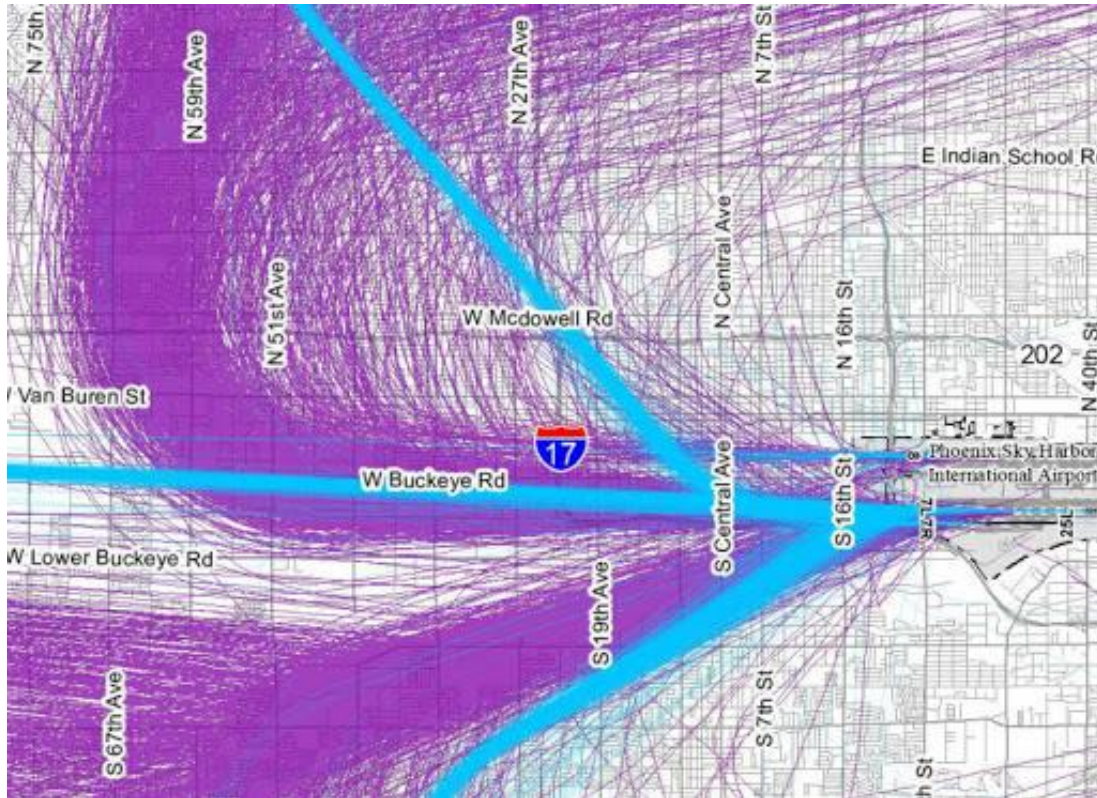
RNAV – Random Navigation

- Rota programada por RNP

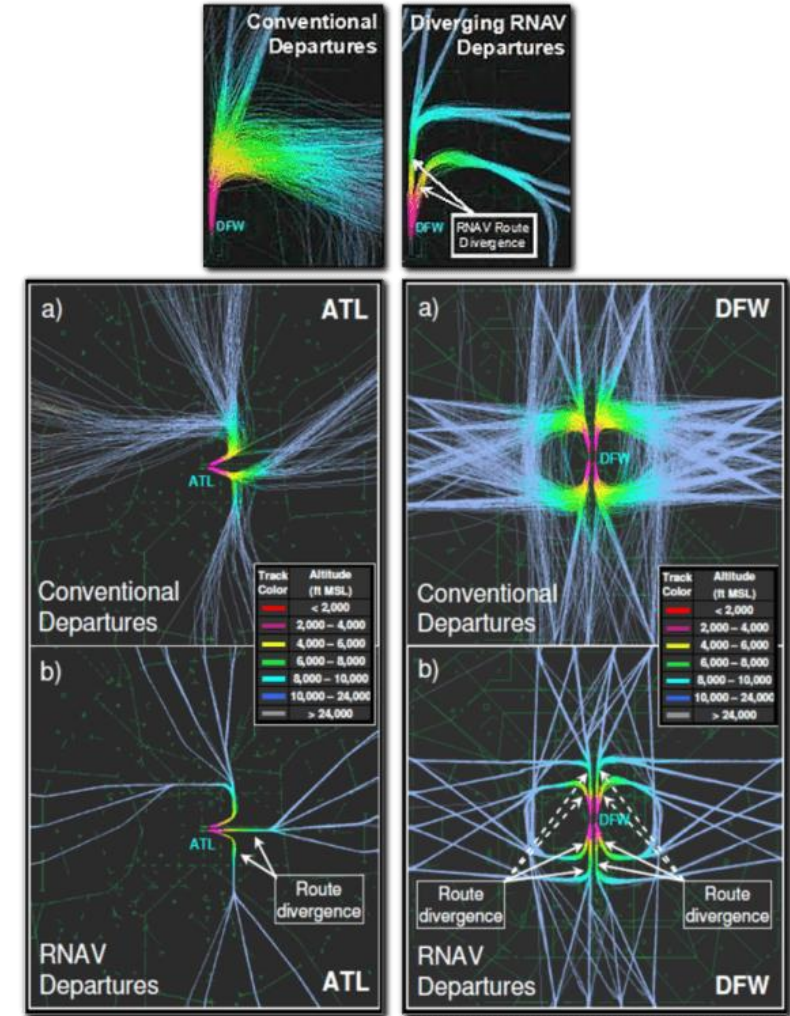


FONTE: Wikipedia

- Estudo da vantagem do uso de RNAV



FONTE: doorstoarrival.com



FONTE: jdasolutions.aero

- Navegação RNP

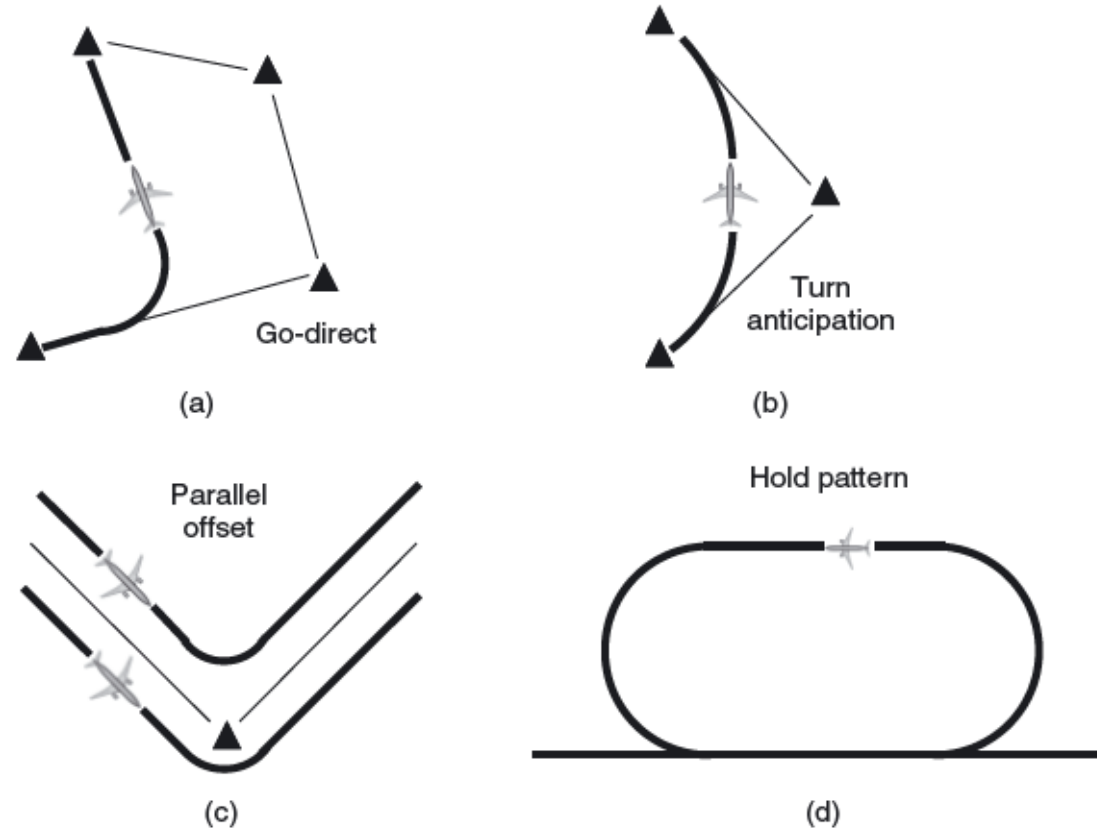


FONTE: Boeing



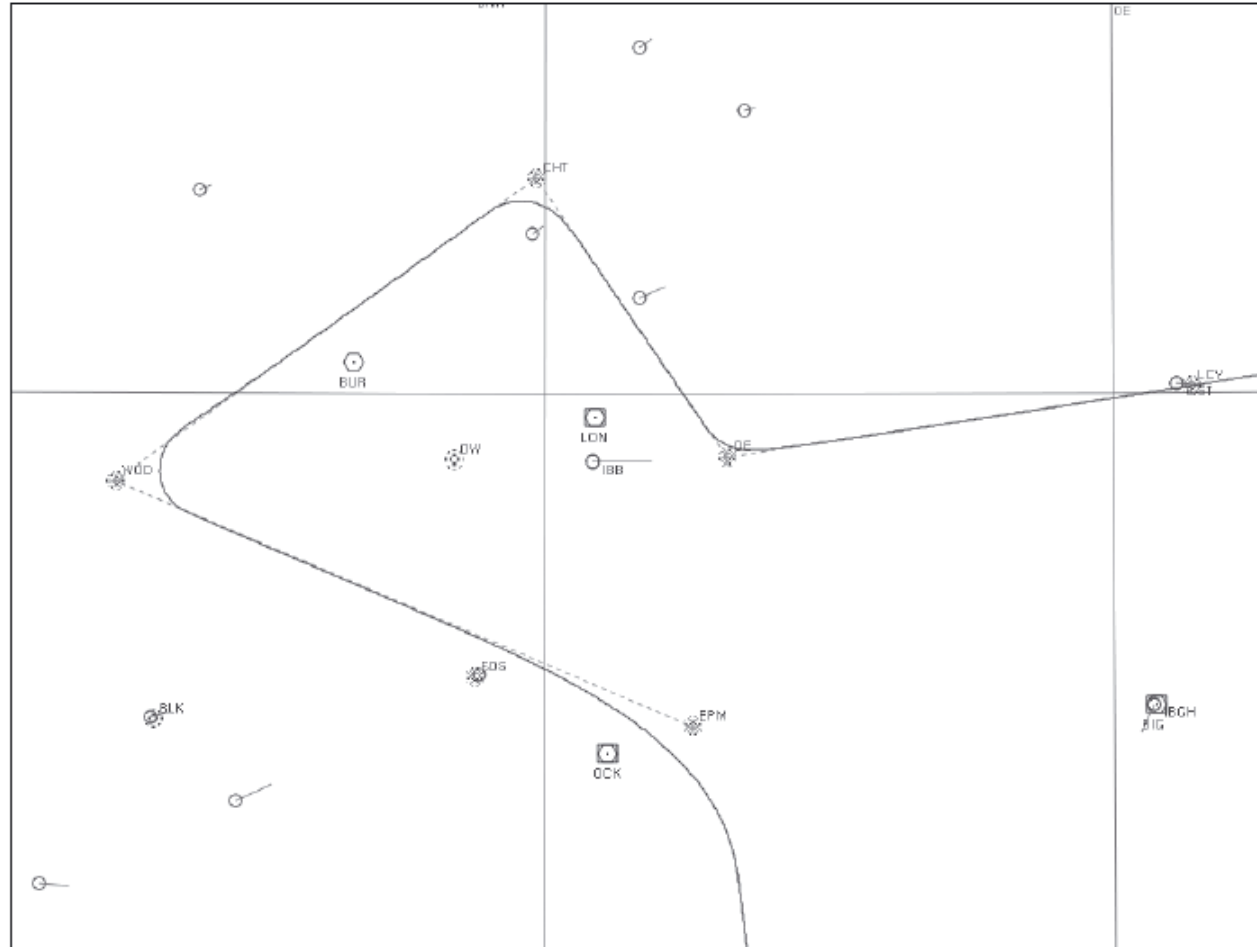
FONTE: virtualairlines.hu

- Navegação RNP



FONTE: Allerton, D. (2009)

- Navegação RNP



FONTE: Allerton, D. (2009)

- Navegação LNAV – Lateral Navigation: Navegação RNAV considerando apenas desvios laterais
- Navegação VNAV – Vertical Navigation: Navegação RNAV considerando apenas desvios de nível