

Jorge Henrique Bidinotto
Julia Canhadas Ribeiro

Princípios de Avionica e Navegação

Capítulo 2 - Navegação por Rádio

São Carlos
Dezembro de 2017

Lista de ilustrações

Figura 1 – Carta de navegação ee simbologia presente	6
Figura 2 – Simbologia dos NAVAIDS	6
Figura 3 – Funcionamento de um radar primário	8
Figura 4 – Mostrador de um radar	8
Figura 5 – Diagrama com um exemplo de periodicidade do sinal	9
Figura 6 – Representação da trajetória inclinada	9
Figura 7 – Representação do ângulo formado com o Norte verdadeiro	10
Figura 8 – Representação do ângulo de elevação	10
Figura 9 – Obtenção matemática da Altitude	11
Figura 10 – Resolução de um radar	12
Figura 11 – Display analógico no painel	12
Figura 12 – Estação VOR em solo	12
Figura 13 – Antenas e respectivas disposições em uma aeronave	13
Figura 14 – Display VOR	13
Figura 15 – Simbologia para operação com VOR	14
Figura 16 – Simbologia para identificação da estação VOR	14
Figura 17 – Situações problemáticas de navegação por VOR	15
Figura 18 – Exemplo de display DME	16
Figura 19 – Estação DME em solo	16
Figura 20 – simbologia para navegação VOR com DME integrado	17
Figura 21 – Simbologia para identificação da estação VOR	17
Figura 22 – Distâncias real e adquirida pelo DME	18
Figura 23 – Manobra arco DME	18
Figura 24 – Simbologia usada para navegação TACAN em cartas de navegação	18
Figura 25 – Estação TACAN em solo	19
Figura 26 – Simbologia usada para navegação TACAN em cartas de navegação	19
Figura 27 – Estação TACAN em solo	20
Figura 28 – Estação TACAN em solo	20
Figura 29 – Estação NDB em solo	21
Figura 30 – Mostrador ADF a bordo	21
Figura 31 – Simbologia para ADF em cartas de navegação	22
Figura 32 – Simbologia para ADF/DME em cartas de navegação	22
Figura 33 – Indicação do ADF em uma carta de navegação	22
Figura 34 – Indicação de NDB em uma carta de navegação	23
Figura 35 – Mostrador VOR e ADF em conjunto	23
Figura 36 – Distribuição de estações Loran-C no mundo	24
Figura 37 – Assinatura de um sinal Loran-C	25
Figura 38 – Exemplo de um conjunto de pulsos Loran-C	25
Figura 39 – Representação de navegação hiperbólica por Loran-C	26
Figura 40 – Aperfeiçoamento de Rotas aeroviárias	27
Figura 41 – Exemplo de painel de Navegação RNAV	27
Figura 42 – Exemplo de painel de Navegação RNAV	28

Sumário

1	Navegação por rádio	5
1.1	Conceito geral – Rádio	5
1.2	<i>Navigational Aids (NAVAID)</i>	5
1.3	RADAR	7
1.4	<i>VOR – Very High Frequency Omnidirectional Range</i>	12
1.5	<i>DME – Distance Measuring Equipment</i>	15
1.6	<i>TACAN – Tactical air navigation</i>	18
1.7	VORTAC:	19
1.8	NDB/ADF	20
1.9	<i>LORAN – Long Range Navigation</i>	22
1.10	<i>RNAV – Random Navigation</i>	26
	Referências	29

1 Navegação por rádio

1.1 Conceito geral – Rádio

O funcionamento do instrumento Rádio dá-se pelo aproveitamento de três propriedades de ondas eletromagnéticas:

- Em condições normais, a energia viaja omnidirecionalmente, à velocidade constante – com pequenas alterações em função de variações atmosféricas e condições climáticas;
- Quando o meio de propagação é a atmosfera terrestre (ar) a velocidade da onda eletromagnética é a velocidade da luz (300.000 km/s; 186.000 mi/s ou 162.000 NM/s);
- Reflexão de onda - ondas de natureza eletromagnética são refletidas ao encontrar superfícies condutoras. São, então, rebatidas em igual direção, com sentido oposto, denunciando a direção do obstáculo.

Com estas simples premissas, o sistema pode ser implementado em tecnologias sensíveis o bastante para permitir uma navegação segura. O estudo da teoria que permitiu o desenvolvimento desse tipo de tecnologia iniciou-se em 1865, com James Clerk Maxwell, mas a onda eletromagnética não foi descoberta de fato até 1886, quando o físico Alemão Heinrich Rudolf Hertz conseguiu de fato provar a teoria de seu antecessor. Após alguns avanços no manuseio de tecnologias transmissoras de onda eletromagnética, a dupla de engenheiros elétricos Albert H. Taylor e Leo C. Young conseguiram identificar um barco de madeira, pela primeira vez. Daí em diante, vários aprimoramentos foram feitos no sentido de melhorar a identificação e localização de corpos no espaço, tanto para a navegação quanto para proteção. Só então em 1940 que esta tecnologia foi amplamente difundida, e diferentes sistemas de radar foram desenvolvidos por países como a Rússia, o Japão, a França, a Alemanha e os EUA.

1.2 *Navigational Aids (NAVAID)*

Trata-se de um conjunto de sistemas os quais auxiliam na navegação. Ainda hoje, os sistemas mais tradicionais e amplamente difundidos são os de navegação por rádio. Serão abordados os principais:

- VOR
- DME
- TACAN
- VORTAC
- NDB/ADF
- LORAN

• RNAV

Primeiramente, é importante o conhecimento da simbologia utilizada em cartas de navegações. As quais indicam os sistemas de navegação existente e suportados em cada estação. Durante uma operação, existem check points compulsórios e não compulsórios, conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2.

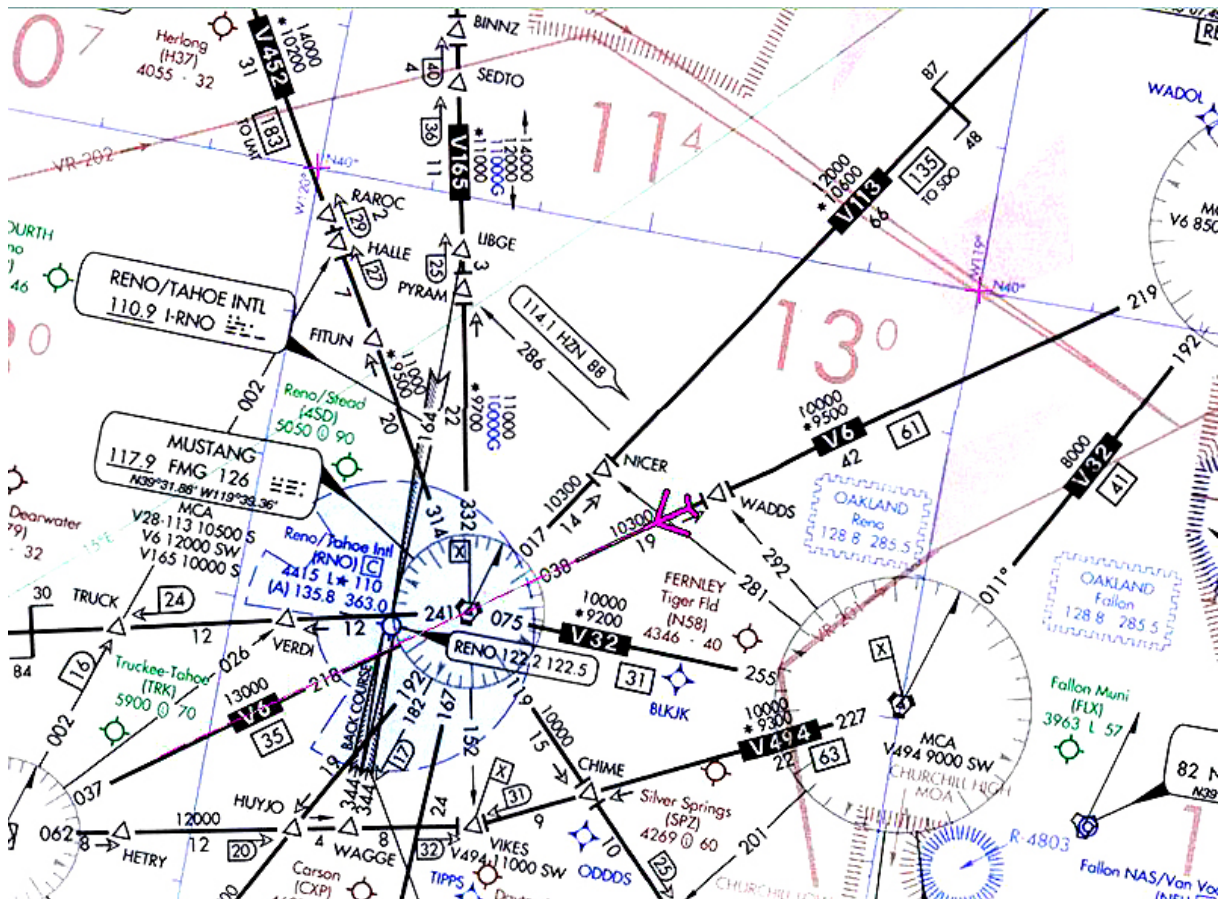


Figura 1 – Carta de navegação e simbologia presente

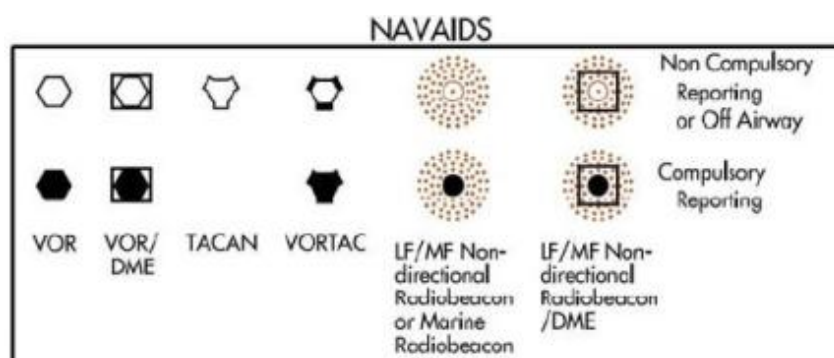


Figura 2 – Simbologia dos NAVAIDS

1.3 RADAR

Princípio básico de operação:

A operação de radares está ligada a princípios eletrônicos similares à teoria de reflexão de ondas sonoras. Isto é, produzido um som, este será refletido por objetos, gerando um “eco”, o qual pode ser audível ou não, a depender de fatores de ganho, direção e distância, por exemplo. Com algum equipamento de recepção, pode-se captar a onda refletida e estimar a distância e direção do objeto refletor. No caso da onda sonora, a velocidade em um mesmo meio será constante e igual à velocidade de som.

O Radar faz uso de ondas eletromagnéticas num procedimento bastante semelhante: a energia em rádio frequência é transmitida e refletida - em parte - por objetos. Esta porção refletida - também denominada eco (“Echo”) - é então captada por sistemas de captura de sinais; a partir de parâmetros do eco, pode-se, então, determinar distância e direção do objeto interferente na trajetória da onda. O Temor RADAR é um acrônimo para: (*RADAR – Radio Detecting And Ranging*) Um radar primário funciona conforme a Figura 3, e um exemplo de mostrador é exposto na Figura 4. Primeiramente, a antena gera um sinal de micro-ondas, direcionado ao alvo (ou à direção desejada); este sinal sofre reflexão, e esta parcela refletida é capturada por um equipamento de recepção. O sinal do Radar é gerado por um transmissor bem potente, e necessita de um receptor relativamente sensível. Ocorrem os seguintes passos:

- São gerados pulsos de energia (potente rádio frequência de curta duração) pelo transmissor;
- O duplexer alternadamente muda a antena de receptora à transmissora, para que não seja necessário uma segunda antena à operação. Esse alternador evita que o pulsos de alta energia do transmissor destruam o receptor;
- A antena transfere a energia do transmissor a sinais no espaço, com a distribuição de eficiência requerida. Analogamente, este processo pode ser aplicado ao receptor;
- Os pulsos transmitidos são radiados no espaço pela antena, sob forma de onda eletromagnética. Esta viaja em uma rota retilínea com velocidade constante (praticamente constante, apesar de pequenas variações devido à mudança de parâmetros da atmosfera em relação à altura e à temperatura. Pode-se desprezar.) até ser refletida pelo objeto;
- A antena recebe o eco produzido pela reflexão;
- O duplexer garante que o sinal - agora mais fraco - seja conduzido até o receptor;
- Este receptor hipersensível amplifica e demodula o sinal de rádio-frequência recebido, criando outro sinal de vídeo de output.
- O mostrador do equipamento recebe e interpreta o sinal de vídeo, gerando o gráfico com posições relativas dos alvos identificados. Estes sinais são tradicionalmente exibidos em um indicador de posição plano (*PPI – Plan Position Indicator*), o qual possui um vetor rotativo - cuja origem contém o radar - , atualizando a tela a cada novo ciclo de sinais enviados/recebidos, e indicando a direção alvo da antena, bem como os corpos encontrados.

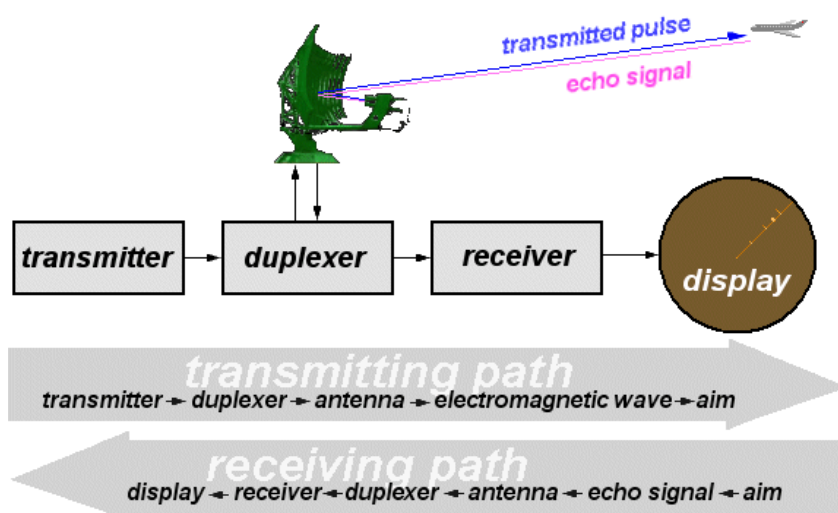


Figura 3 – Funcionamento de um radar primário

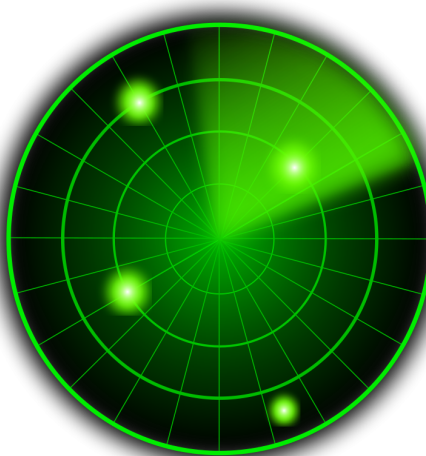


Figura 4 – Mostrador de um radar

Periodicidade do sinal

Todas as funções de um radar são dependentes do tempo, a exemplo da sincronia transmissor – receptor para o cálculo da posição do objeto identificado. O sistema emite um pulso durante o período de transmissão (τ) e espera pelo retorno do mesmo durante um período de recepção. Antes de outro ciclo ser iniciado, existe um tempo de folga. O Período entre o começo de dois pulsos é denominado tempo de repetição de pulso (PRT – *Pulse Repetition Time*). Pode-se observá-los na Figura 5

Sendo que:

$$PRT = \frac{1}{PRF} \quad (1.1)$$

PRF: *Pulse Repetition Frequency*, ou seja, número de pulsos num intervalo de um segundo.

Trajetória Inclinada – *Slant Range*

Esse é um tipo de distorção que pode ocorrer na interpretação do sinal recebido, devido à visada lateral do radar. Isto é, ocorre uma projeção inclinada em relação ao solo, podendo identificar um objeto numa posição deslocada da real, uma compressão da imagem

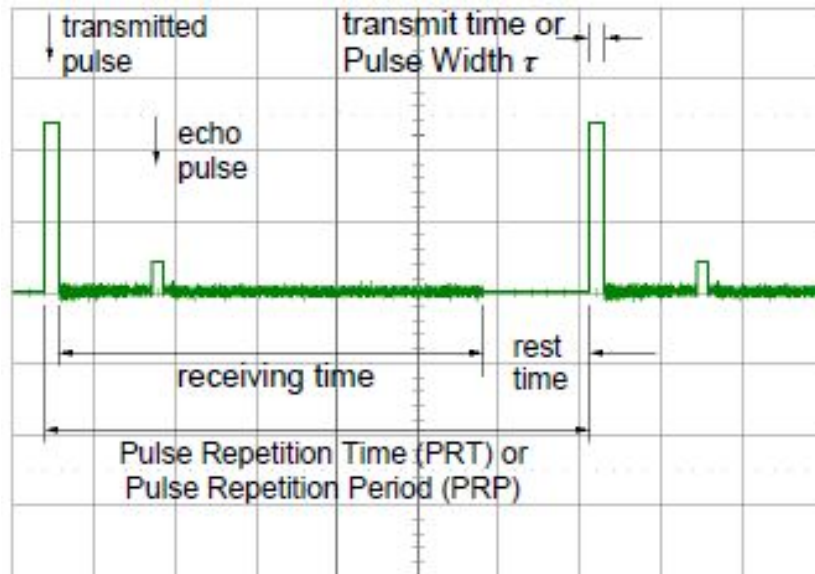


Figura 5 – Diagrama com um exemplo de periodicidade do sinal

real. No caso de dois corpos com altitudes diferentes, conforme ilustrado na Figura 6, porém de posicionamentos (latitude e longitude) idênticos, os sinais foram interpretados em duas imagens de posicionamento distintos. A conversão da imagem da projeção inclinada para a projeção no solo é chamada de conversão “*slant to ground range*”. A imagem “*slant*” (na projeção inclinada) está relacionada com o modo de aquisição em radares de visada lateral.

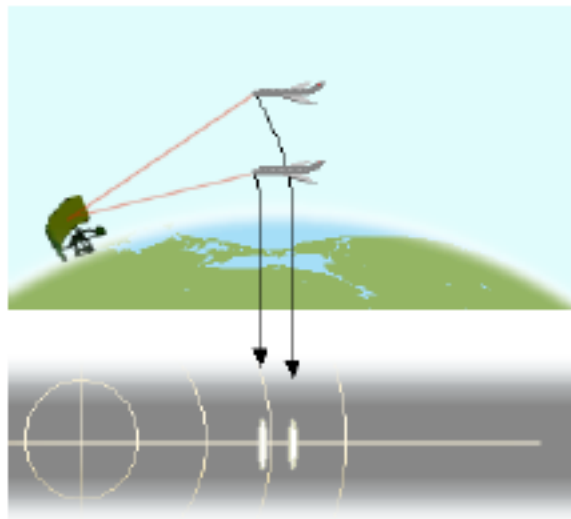


Figura 6 – Representação da trajetória inclinada

Determinação de direção

A direção do alvo é determinada pela diretividade da antena. Diretividade trata-se da eficiência da antena em concentrar a energia transmitida numa direção em particular. Sabendo a direção para a qual a antena está apontando no momento em que o eco é recebido, ambos os ângulos azimutais e de elevação entre o radar e o objeto alvo podem ser determinados. A acurácia desta medida angular é determinada justamente pela diretividade

da antena utilizada. A referência do Norte verdadeiro (*True Bearing*) de um radar é o ângulo entre o norte verdadeiro e a linha que aponta para o alvo. Este ângulo é medido em um plano horizontal e no sentido horário. Denota-se o ângulo pela letra grega β . Isso é retratado na Figura 7.

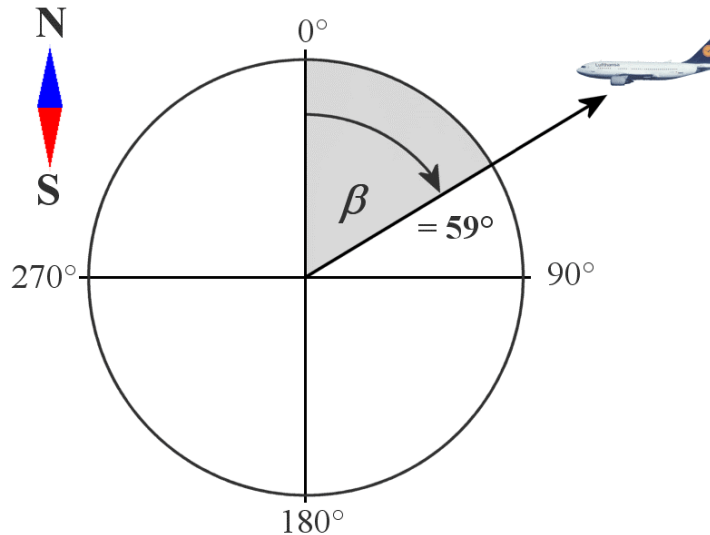


Figura 7 – Representação do ângulo formado com o Norte verdadeiro

Ângulo de elevação:

Trata-se do ângulo entre o plano horizontal e a inclinação do sinal recebido, medido em um plano vertical. É representado pela letra grega ϵ , e pode-se observá-lo na Figura 8.

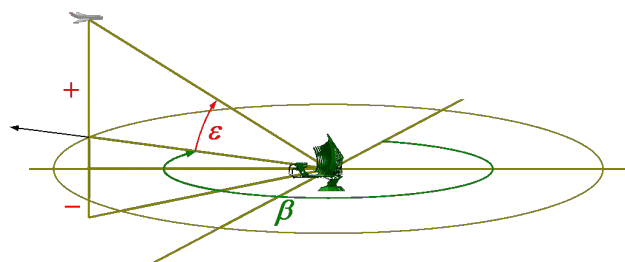


Figura 8 – Representação do ângulo de elevação

Altitude

Na teoria, a Altitude pode ser obtida segundo evidenciado na Figura 9

H = Altitude

R = Trajetória Radar - Alvo

ϵ = ângulo de elevação medido

r_e = Raio médio da Terra (cerca de 6370 km)

Contudo, na prática, a propagação das ondas eletromagnéticas também sofre refração, o que significa que um lóbulo do radar não corresponde exatamente a um lado

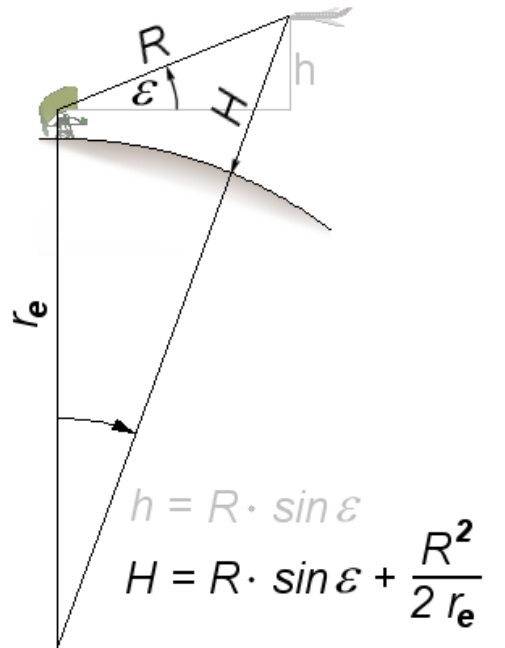


Figura 9 – Obtenção matemática da Altitude

deste triângulo, pois não será um feixe completamente reto. Na realidade, a deformação da trajetória de propagação depende de parâmetros como pressão, temperatura, umidade e até do próprio comprimento de onda propagada. Portanto, trata-se de uma aproximação da altitude real do objeto-alvo.

Acurácia

: Denomina-se acurácia o grau de conformidade entre as posições reais e a medida. Geralmente é medida por meio de dados estatísticos de erros obtidos em situações de rádio navegação. Existem requerimentos, a depender da finalidade de uso do radar, referentes a acurácia. O valor requerido de acurácia representa a incerteza do valor reportado comparado ao valor real, e indica o intervalo no qual o valor real deve estar estatisticamente. Recomenda-se no máximo o correspondente a dois desvios padrões em uma curva de distribuição normal (Gaussiana) da variável. Acurácia, no entanto, não deve ser confundida com resolução do radar, o próximo tópico a ser abordado.

Resolução

: Resolução de um radar é a distância mínima entre dois alvos a partir do qual o sistema é capaz de distinguir as duas posições. De forma análoga, resolução angular do radar é o ângulo mínimo a partir do qual é possível distinguir a posição de dois corpos. A partir destas duas definições, pode-se chegar na célula de resolução mínima, mostrado na Figura 10. Isto é, não é possível distinguir dois ou mais corpos se ambos estiverem ocupando um volume igual ou inferior à célula de resolução. Quanto menor a célula, mais imune à interferência é a estação de radar.

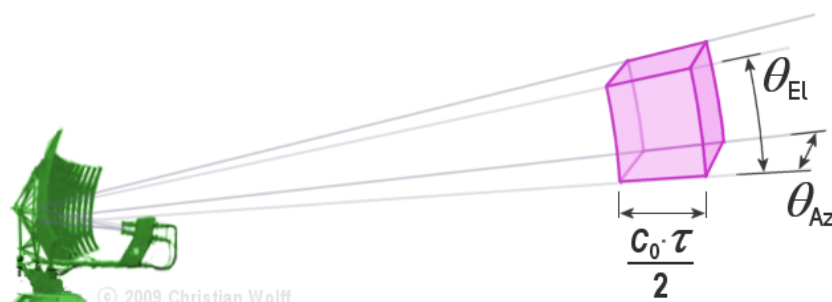


Figura 10 – Resolução de um radar

1.4 VOR – Very High Frequency Omnidirectional Range

Consiste em uma rede de estações em solos, as quais omitem sinais unidirecionais; estes sinais indicam ao sistema a direção e o sentido a ser seguido para que seja feito o deslocamento de um suposto *Waypoint* "A" a outro "B". Contudo, não é possível determinar a distância a partir do sinal recebido. Ao ultrapassar o ponto almejado, uma sinalização no sistema muda de um status "*TO*" para um status "*FROM*". As Figuras 11 e 12 ilustram, respectivamente, o display analógico no painel e uma estação terrestre VOR.

Figura 11 – Display analógico no painel



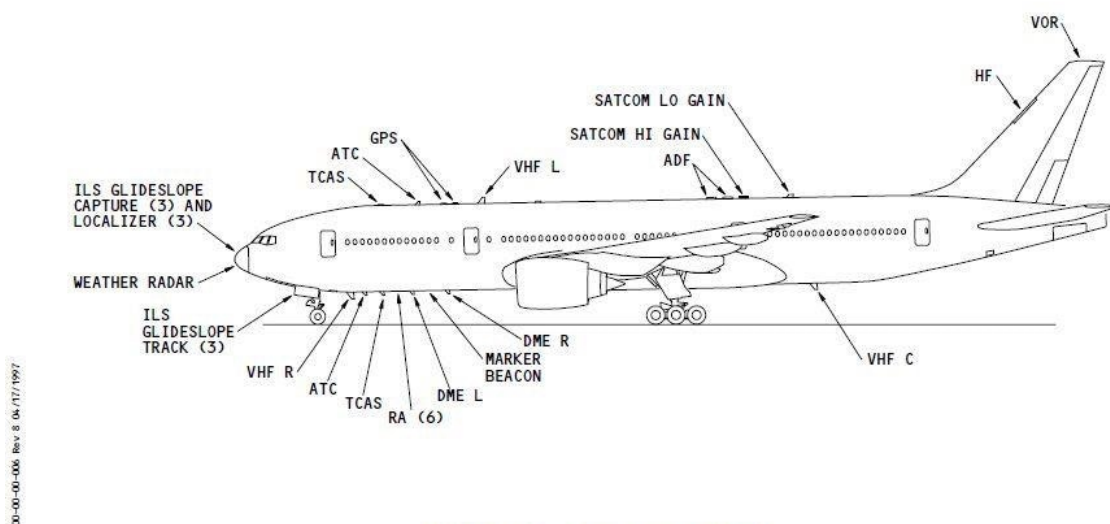
Figura 12 – Estação VOR em solo

Instrumento a bordo

O sistema é composto por uma antena, um receptor e pelo instrumento de indicação no painel. A posição da antena pode ser vista conforme a Figura 13. O receptor capta o sinal convertendo-o e direcionando ao instrumento de indicação. Conforme a Figura 14, as informações são dispostas da seguinte maneira:

- OBS (*Omnibearing selector*): seleciona o Course Index (curso) a ser seguido até que a proa esteja alinhada ao curso determinado pela agulha do instrumento;
- CDI (*Course Deviation Indicator*): por meio do desvio lateral da agulha, indica o quão desviada a aeronave se encontra dado o radial da estação selecionada. A Resolução (marcação mínima) é de dois graus de desvio da radial.

- Indicador “TO” / ”FROM”: determina o sentido do deslocamento;
- Bandeiras: indicam o modo em que o instrumento se encontra (a exemplo de desligado, Modo navegação e modo de aproximação).



777 GENERAL – ANTENNA LOCATIONS

Figura 13 – Antenas e respectivas disposições em uma aeronave



Figura 14 – Display VOR

Estação em solo

Trata-se de uma construção com uma antena emissora de uma frequência única VHF (respeitando a faixa de 108,0 – 117,95 MHz) e de baixa altura. Cada direção a partir da estação é denominada “Radial”, cuja precisão é de 1 grau. A emissão do sinal é feita de duas maneiras simultâneas. A primeira, denominada sinal de referência, é emitida nas

360 radiais ao mesmo tempo e de maneira constante; a segunda, o sinal variável, parte de uma fonte rotativa no alto da torre da estação, a 1800 rpm. Isto resulta em uma diferença de fase entre os sinais. Por exemplo, a direção sul tem 180 graus de fase; a norte, zero. A partir destes dois sinais, o receptor da aeronave compara o sinal variável ao sinal de referência, decifrando a diferença de fase e, assim, pode determinar a direção da referida estação.

Indicação em Cartas de Navegação

Conforme apresentado anteriormente, a sinalização do VOR corresponde à figura de um hexágono e a indicação do norte magnético da região em questão (Figura 15. Junto a ele, uma caixa de texto evidencia informações da respectiva estação, conforme Figura 16. Quando conectada à frequência da estação, pode-se selecionar o áudio do VOR. Assim, pode-se receber, por código Morse, o código de identificação da Estação ou mesmo o próprio nome. Além disso, existem três tipos de alcance: “T”, indicativo de Terminal, de aproximadamente 25 NM; “L”, de Low altitude, para aproximadamente 40 NM; e, finalmente, “H”, de high altitude, que significa aproximadamente 100 NM.

Figura 15 – Simbologia para operação com VOR

Figura 16 – Simbologia para identificação da estação VOR

Operação do VOR

Assim como qualquer operação aeronáutica, a navegação por VOR exige preparo e planejamento. Primeiramente, a frequência da estação desejada deve ser sintonizada via FMS (*Flight Management System*), e o código ou nome da estação reconhecidos via áudio em código Morse; em seguida, ajusta-se o OBS (*Omnibearing selector*) até que o indicador de curso esteja coincidindo com a ponta da agulha do CDI (*Course Deviation Indicator*). Assim, o desvio lateral deve ser zerado, centralizando a ponta da agulha, e mantendo a proa até que o indicador mude de “TO” para “FROM”. Daí em diante, o procedimento é repetido para as próximas estações.

Assim como demais técnicas de navegação convencional (deslocamento ponto a ponto), a navegação VOR é limitada em algumas situações, exigindo deslocamentos desnecessários. A Imagem 17 ilustra uma condição em que o receptor VOR está posicionado em um ponto A, desejando o piloto viajar diretamente para o Ponto B. Existem algumas estações à vizinhança da aeronave, contudo, não é claro se haverá recepção do sinal desejado na atual posição da aeronave. Nesta condição, o piloto tem duas opções: deslocar-se para interceptar a via mais próxima e então direcionar-se ao ponto B; ou então buscar interceptar a radial desejada – assumindo que existe recepção apropriada do sinal. Portanto, em nenhum dos casos proporciona um voo direto (sem mudança de proa) entre os pontos A e B. Em alguns casos, pode ser que não exista uma radial cruzando o ponto desejado e ao mesmo tempo, atingindo a posição da aeronave. Isso dificulta ainda mais o trajeto.

Apesar da técnica de navegação por VOR proporcionar uma precisão de $\pm 1^\circ$, pode haver perda de qualidade de sinal devido à interceptação de hélices; nesses casos, a precisão pode chegar a $\pm 6^\circ$. É importante ressaltar que, em sobrevoos a estações VOR, pode haver perda de sinal resultante do “Cone cego” da antena.

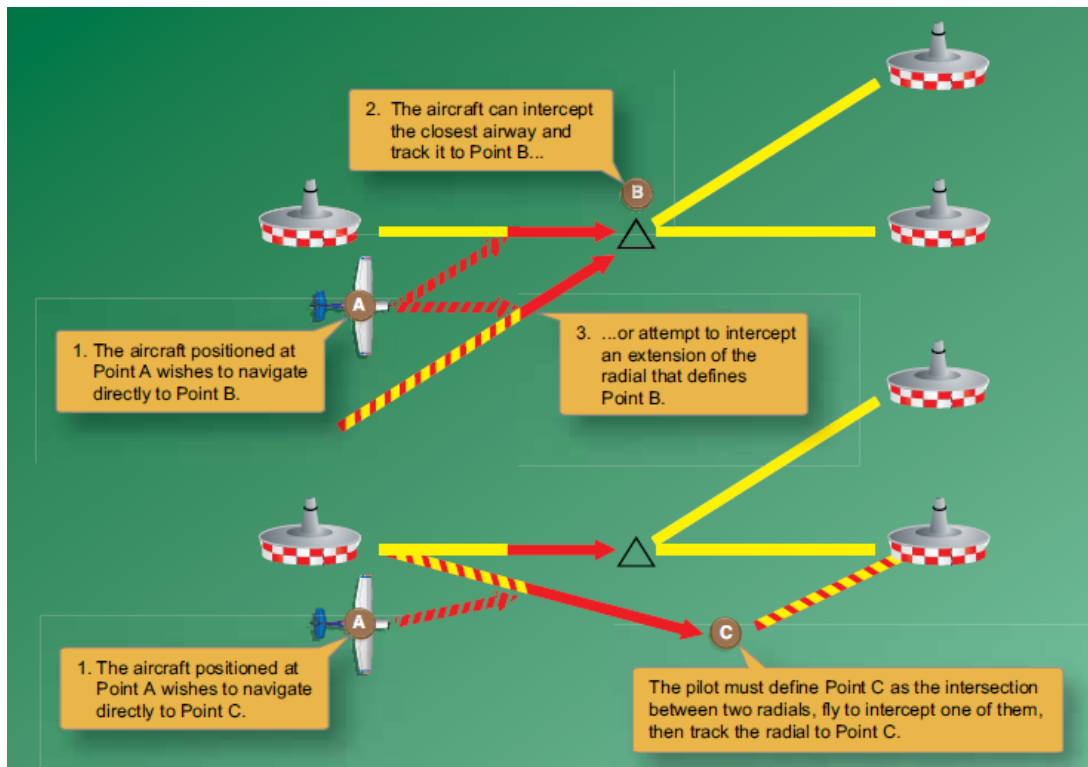


Figura 17 – Situações problemáticas de navegação por VOR

1.5 DME – Distance Measuring Equipment

Como ressaltado anteriormente, o sistema VOR não é capaz de informar ao piloto a distância entre o emissor e o receptor do sinal; para suprir esta necessidade, desenvolveu-se o DME, o qual fornece a distância, mas não é capaz de identificar a proa. Por ser complementar ao VOR, geralmente as estações VOR possuem, conjuntamente, equipamentos DME. No entanto, a instrumentação de ambos é separada. Alguns fabricantes podem combiná-lo em um mesmo Hardware, porém os funcionamentos são independentes.

Além disso, O DME pode trabalhar em conjunto, além do VOR, com o VORTAC, LOC/DME ou ILS/DME, os quais serão abordados mais adiante. O equipamento a bordo fornece, geralmente, a distância até a estação selecionada; em alguns casos, pode também indicar a groundspeed, calculada com base em duas informações consecutivas de distância e o tempo de deslocamento. Está representado na Figura 18. Além disso, uma estação DME está exemplificada na Figura 19

Funcionamento do DME

O sistema consiste em um *transponder* na estação em solo, o qual recebe sinal à *Ultra High Frequencies* (UHF), proveniente da aeronave. Em resposta, emite um sinal após um intervalo de 50 μ s. Dessa forma, o cálculo da distância consiste apenas na comparação da diferença de tempos entre os sinais.

O sinal enviado pela aeronave indica o horário exato da emissão, em sinal de rádio UHF, na faixa de 962 a 1213 MHz. A resposta preserva a informação (horário exato da emissão do sinal pela aeronave), para que o equipamento possa identificar o sinal correto, sem confundi-lo com o sinal resposta para outra aeronave. Ademais, os sinais de pergunta



Figura 18 – Exemplo de display DME



Figura 19 – Estação DME em solo

e resposta tem uma defasagem de 63 MHz. Existe, ainda, uma divisão própria das faixas de sinal, sendo:

- De 962 a 1024 MHz destinada a emissões terra-ar;
- De 1025 a 1150 MHz destinada a emissões ar-terra;
- De 1151 a 1213 MHz também destinada a emissões terra-ar.

A estação em solo, consiste em uma antena de baixa altura, emissora de UHF; ou então na associação do DME com o VOR. Nestes casos, ao sintonizar a frequência do VOR, automaticamente identifica-se o DME correspondente. Existe um limite de 100 sinais simultâneos que uma estação pode enviar/receber.

O equipamento a bordo possui dois modos de operação:

- *Search mode*: envia 150 pulsos por segundo, até que receba um sinal de resposta de uma estação em solo, conectando-se a ela;
- *Tracking mode*: uma vez conectado a uma estação, a emissão de sinais é reduzido a uma faixa de 5 a 25 pulsos por segundo. Essa redução é um modo de evitar saturação no receptor da estação em solo.

Existem 126 canais de DME disponíveis, e a carta de navegação indica a qual deve ser conectado para procurar determinada estação em solo. O alcance de uma estação DME é análogo ao de uma VOR: “T”, indicativo de Terminal, de aproximadamente 25 NM; “L”, de *Low altitude*, para aproximadamente 40 NM; e, finalmente, “H”, de *high altitude*, que significa aproximadamente 100 NM.

Na própria Figura 13, apresentada anteriormente, pode-se identificar o posicionamento de duas antenas DME, uma à esquerda (DME L) e uma à direita (DME R) da aeronave.

Indicação em Cartas de Navegação

A indicação de uma estação DME pode ser conjunta à de uma VOR, representada um hexágono no interior de um quadrado, conforme a Figura 20. E suas especificações, apresentação o número do canal a ser conectado para selecionar-se a estação, assim como indica a Figura 21. E, assim como para o VOR, pode obter o nome/código da seleção via áudio, por código Morse.

Figura 20 – simbologia para navegação VOR com DME integrado

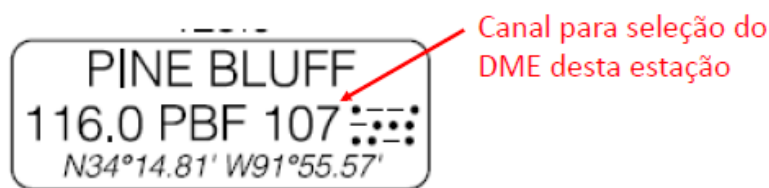


Figura 21 – Simbologia para identificação da estação VOR

Operação:

O sistema DME possui uma precisão de 0,1 NM. Contudo, é importante salientar que a distância indicada é a distância real entre a aeronave e a estação. Em outras palavras, não é a distância projetada na superfície terrestre, mas sim o comprimento da hipotenusa formada entre a aeronave e a estação em solo, o que pode ser observado na Figura 22. Percentualmente, este erro torna-se menor quanto menor a altitude ou maior a distância. O Arco DME trata-se de um procedimento muito utilizado em pilotagem. Ele consiste em circular uma estação DME a uma distância constante, ilustrado na Figura 23. Este procedimento pode ser identificado na própria carta (DME Arc). Assim como para o VOR, o DME também está sujeito a perdas de sinal resultantes do “Cone cego”.

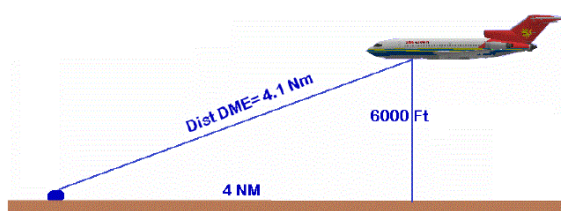


Figura 22 – Distâncias real e adquirida pelo DME

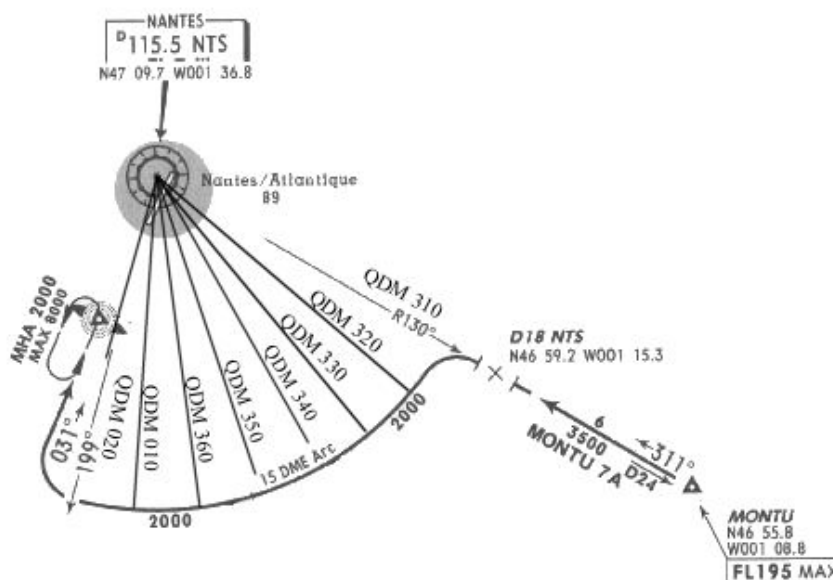


Figura 23 – Manobra arco DME

1.6 TACAN – Tactical air navigation

O TACAN é a versão militar do VOR/DME, operando na mesma dinâmica do DME: sinais pergunta e resposta (por meio de transponder) para a medição da distância, em UHF. Respeita as mesmas faixas do DME.

As Figuras 24 e 25 mostram, respectivamente, a denotação utilizada em cartas de navegação, e as estações TACAN em solo.



Figura 24 – Simbologia usada para navegação TACAN em cartas de navegação

Operação:

O equipamento em solo consiste em um disco giratório, composto por 9 emissores externos e um interno, continuamente transmitindo o sinal UHF, conforme ilustrado na Figura 26. Em rotação, o conjunto forma 9 lóbulos de sinal, com intensificação gradativa à medida que há alinhamento entre o transmissor interno e cada um dos 9 externos, como na Figura 27.



Figura 25 – Estação TACAN em solo

Este sinal, planejado, assume dois módulos; ou seja, dois sinais distintos: um a 15 Hz e outro a 135 Hz, explicitados na Figura 28. Quando o equipamento a bordo conecta-se a este sinal de dupla modulação, também distingue a diferença de fase entre eles, podendo identificar a radial da aeronave com precisão de $\pm 1^\circ$. Já a informação da distância é captada de maneira similar à do DME.

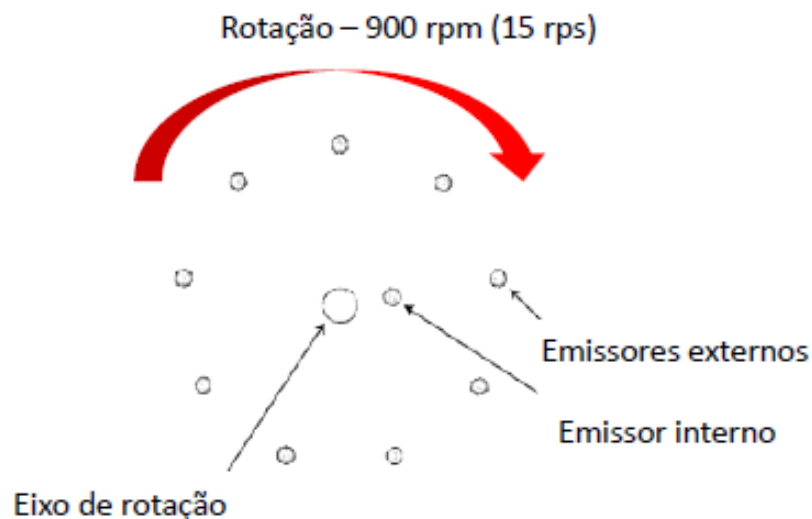


Figura 26 – Simbologia usada para navegação TACAN em cartas de navegação

1.7 VORTAC:

É a estação em solo que une os NAVAIDS VOR e TACAN, incluindo o DME.

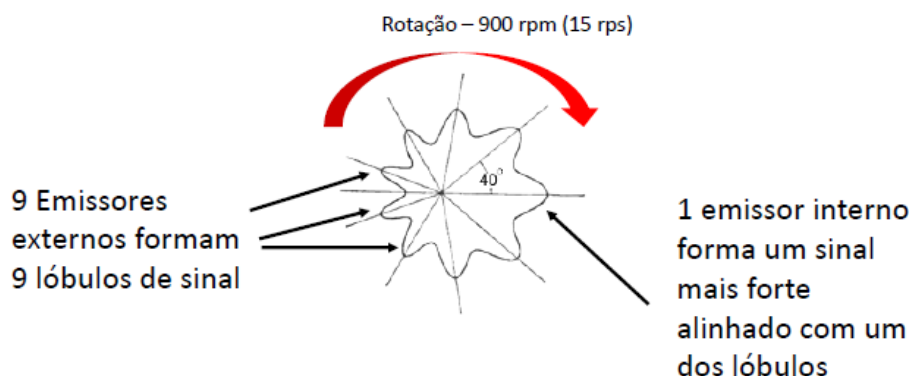


Figura 27 – Estação TACAN em solo

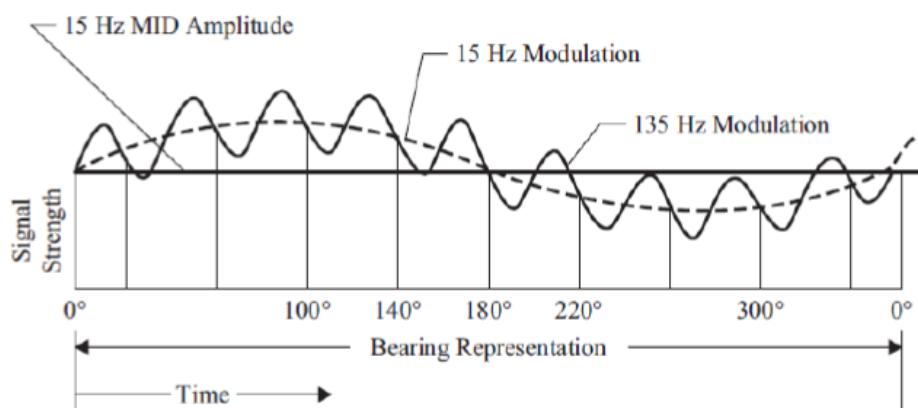


Figura 28 – Estação TACAN em solo

1.8 NDB/ADF

Radiogoniometria – RDF (*Radio Direction Finding*)

Para determinar-se a direção entre duas antenas (receptora e transmissora), emprega-se o método de radiogoniometria, o qual localiza fontes de sinais radioelétricos. Foi desenvolvida durante o século XX, com um emprego majoritariamente militar, isto é, para detectar a radial de aeronaves que se aproximavam.

A antena receptora é omnidirecional, podendo comparar a intensidade do mesmo sinal recebido em diferentes direções; a partir disso, determina a radial na qual o sinal torna-se mais forte, sendo esta a direção da fonte do sinal.

As siglas representam as antenas emissora e receptora, respectivamente: NDB – *Nondirectional Beacon* e ADF – *Automatic Direction finder*.

Trata-se do primeiro NAVAID criado, utilizando os conceitos de Radiogoniometria e embasado na navegação naval, a qual utiliza de faróis em solo. Nesse sentido, para a aeronáutica, estações em solo desempenham função análoga a um farol.

As estações NDB estão representadas na Figura 29, e o equipamento ADF, na

Figura 30.



Figura 29 – Estação NDB em solo



Figura 30 – Mostrador ADF a bordo

Cartas de navegação:

As Figuras 31 e 32 ilustram a representação gráfica utilizada em cartas de navegação para se evidenciar o uso da tecnologia NDB; além disso, as características da estação são expostas conforme a Figura 33. Na Figura 34, é apresentada a presença de NDB em uma carta de navegação.

Operação:

A estação terrestre NDB envia, ininterruptamente, sinais de rádio a média e baixa frequência (entre 190kHz e 1750kHz), em todas as radiais; Em raros casos, também pode trabalhar com UHF. Essas estações são classificadas de acordo com o respectivo alcance, podendo estar em três grupos: MH, para até 25 NM; H, para até 50 NM; e, finalmente, HH, para até 75 NM.



Figura 31 – Simbologia para ADF em cartas de navegação



Figura 32 – Simbologia para ADF/DME em cartas de navegação

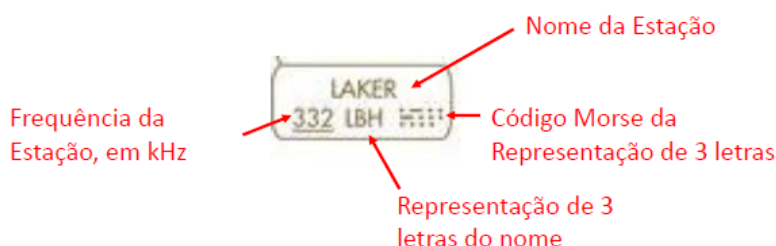


Figura 33 – Indicação do ADF em uma carta de navegação

A antena ADF a bordo na aeronave também pode ser encontrada na Figura 13, evidenciada na região superior. Ela capta o sinal de uma estação NDB, usando-a como referência, assim como um farol naval. Uma vez que a operação envolve sinais de frequências mais baixas, estes sistemas estão muito sujeitos a interferências e erros. Por possuir elevados custos de manutenção e baixa precisão, as estações de NDB estão se tornando obsoletas. Nos EUA, já não se faz mais o uso deste tipo de tecnologia, ao passo que, no Brasil, já está em fase de desativação, a qual tem prazo de conclusão em 2020.

Por outro lado, o equipamento ADF é mais versátil, já que permite troca de informações entre duas aeronaves e pode ser utilizado como rádio AM. Dessa forma, mesmo que o NDB esteja caindo em desuso, o sistema ADF continua estando presente nas aeronaves.

A Figura 35 expõe um mostrador do painel de uma aeronave, operando com VOR e ADF em conjunto.

1.9 LORAN – *Long Range Navigation*

LORAN, ou Navegação de longo alcance, é utilizado para maiores distâncias, porém opera apenas no Hemisfério Norte, conforme observa-se na Figura 36, e com cobertura bastante limitada. A frequência de operação é de 100 kHz, com modulação na faixa de 90 kHz a 110 kHz, com os modos “*GroundWave*” ou “*Skywave*”.

referir-se ao sistema original, que foi desativado em 1980. O LORAN-B surgiu, contudo, com propostas impraticáveis, e logo foi descontinuado. LORAN-C é o sistema que está em operação atualmente; além desses mencionado, houve uma última tentativa de renovar o sistema, adaptando-o para baixo alcance: LORAN-D. Pela baixa repercussão, não houve continuação de sua implementação, tornando-se obsoleto.

As estações em solo consistem em antenas simples de transmissão, podendo chegar a mais de 400m de altura. Isso porque, devido à baixa frequência de operação, uma maior altura minimiza riscos de interferências do sinal pelo relevo, por exemplo.



Figura 36 – Distribuição de estações Loran-C no mundo

Operação:

Cada uma das estações em solo emite um conjunto de pulsos periodicamente, sendo uma espécie de assinatura própria da estação. Isto é, cada uma das estações possui um padrão próprio e único de oito sinais, por meio dos quais é possível reconhecê-la. E é justamente assim que o equipamento a bordo consegue reconhecer a identificação e o paradeiro da estação encontrada. Uma vez que o equipamento a bordo recebe ao menos três conjuntos de pulsos distintos (provenientes de ao menos três estações distintas), é possível triangular o posicionamento exato da aeronave.

Entre os sinais recebido, denomina-se “*Master*” a estação que estiver geograficamente posicionada mais ao centro, ao passo que as outras são chamadas de “*Slave*”.

O tempo de duração de cada conjunto de pulsos é denominado GRI (*Group Repetition Interval*), representado na Figura 37. Um exemplo de pulsos recebidos é ilustrado na Figura 38.

No caso de recebimento e identificação de apenas dois padrões de sinais (apenas duas estações) e medindo o tempo entre cada GRI, determina-se um lugar geométrico em forma de hipérbole, no qual a aeronave pode estar. Portanto, este método é conhecido também como Navegação Hiperbólica, ilustrado na Figura 39. Somente com o reconhecimento de uma terceira estação que pode-se afirmar o ponto exato de localização da aeronave.

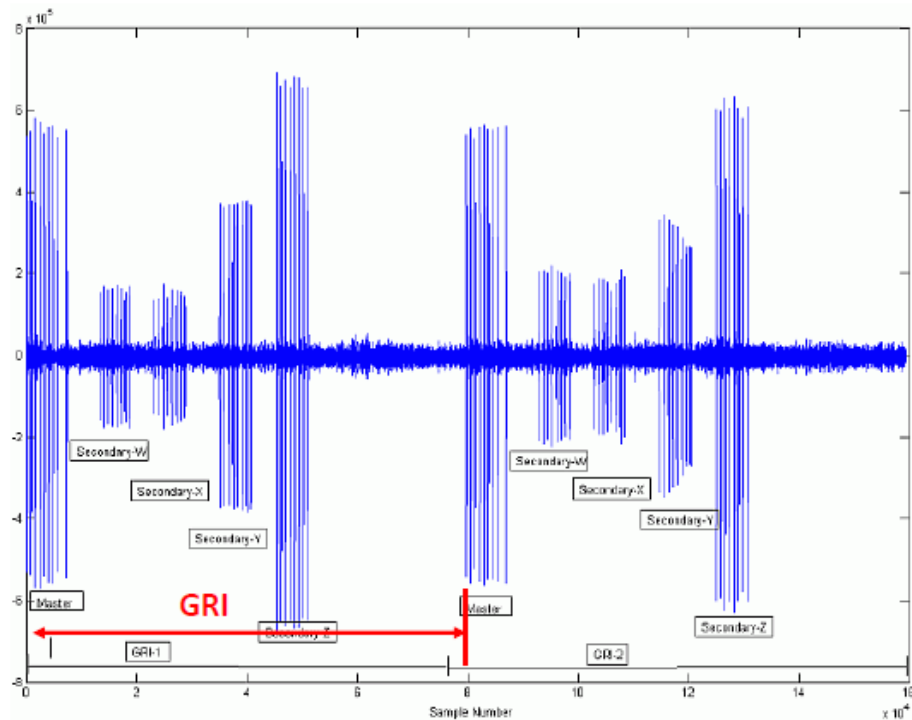


Figura 37 – Assinatura de um sinal Loran-C

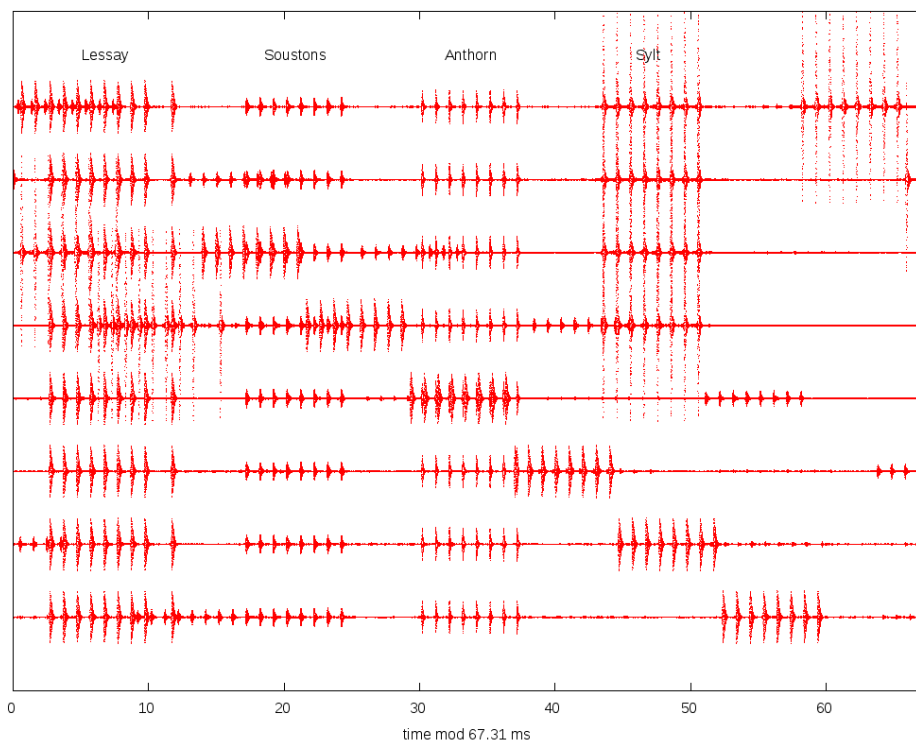


Figura 38 – Exemplo de um conjunto de pulsos Loran-C

A acurácia deste sistema é bastante dependente das condições meteorológicas e geográficas (a exemplo do relevo) entre as estações sintonizadas. Para o modo “*Ground Wave*”, na melhor condição, a precisão é de 400 ft para um alcance de 350 NM; e na pior condição, 1700 ft para um alcance de 100 NM. Já com o emprego do modo “*Sky Wave*”, o

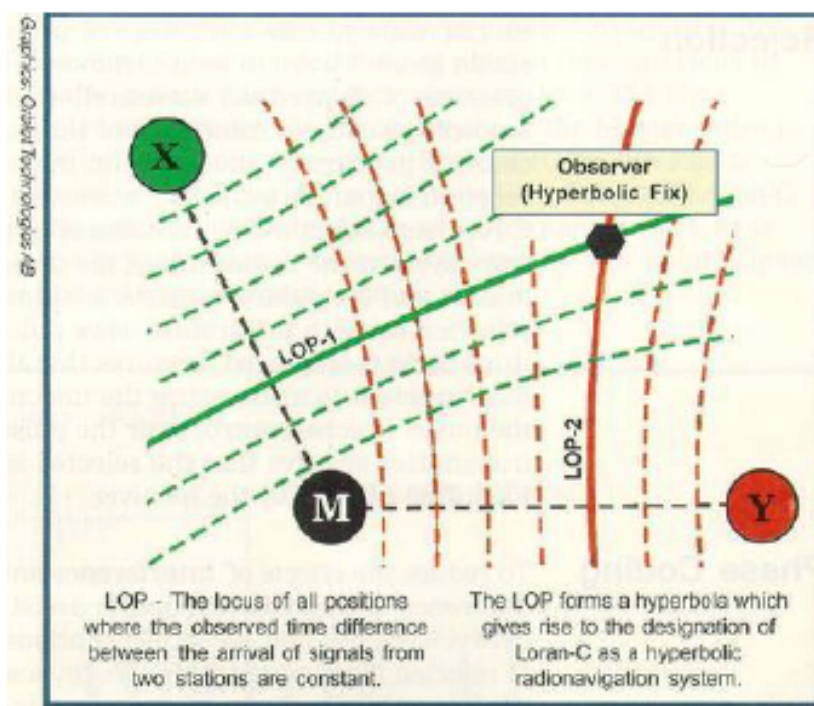


Figura 39 – Representação de navegação hiperbólica por Loran-C

alcance é potencializado, apesar de haver perda de precisão. Dessa forma, o alcance pode chegar a 1500 NM, a uma precisão de 10 NM.

Este sistema não é tão comum, sendo utilizada apenas por algumas aeronaves específicas. A tendência é que seja substituído gradativamente pela navegação via satélite.

1.10 RNAV – *Random Navigation*

Este sistema digital é capaz de integrar o funcionamento de outros NAVAIDS, combinando-os de maneira a proporcionar trajetos mais eficientes, sem que seja necessário sobrevoar alguma estação de NAVAIDS.

Existe, ainda, um aperfeiçoamento desse sistema, o RNP (Required Navigation Performance) ou PBN (*Performance-Based Navigation*), o qual leva em consideração as manobras da própria aeronave, como curvas, aproximação e aterrissagem. Além do plano de voo otimizado e mais realista (sem arestas em mudanças de direção), é usado para o plano de pousos e de decolagens. A Figura 40 mostra o gradual aperfeiçoamento de rotas entres um NAVAID convencional, RNAV e RNP.

Os instrumentos utilizados permitem uma integração maior dos diversos sistemas de navegação, possuindo *display* digital e com variados recursos, facilitando a operação. A maioria das funcionalidades opera de maneira mais “automática”.

Exemplos de painéis mostradores de navegação RNAV são observados na Figuras 41 e 42.

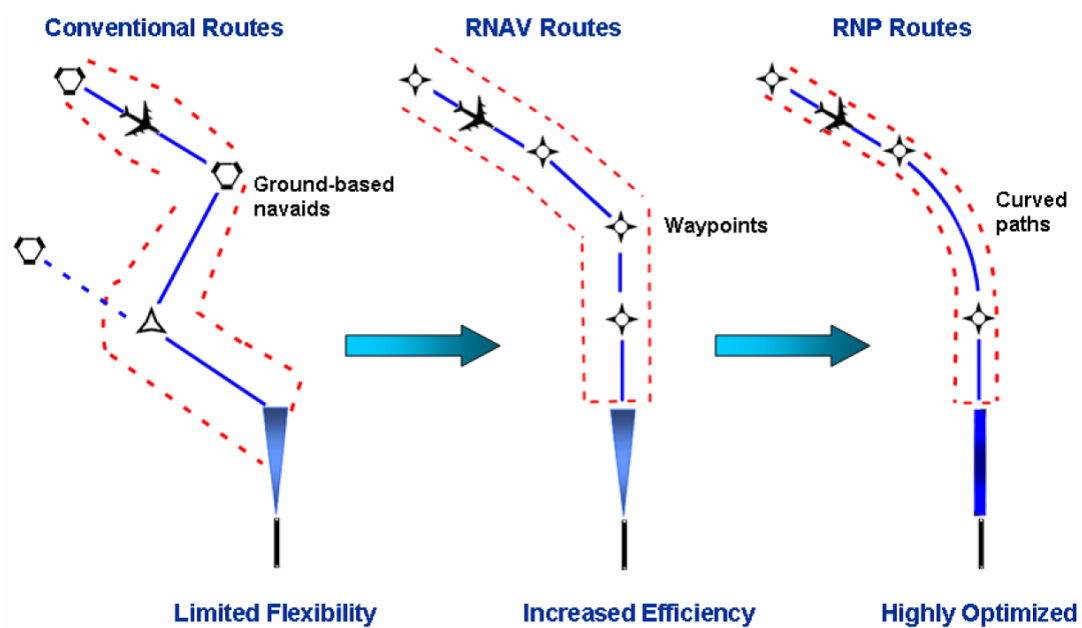


Figura 40 – Aperfeiçoamento de Rotas aeroviárias



Figura 41 – Exemplo de painel de Navegação RNAV



Figura 42 – Exemplo de painel de Navegação RNAV

Referências

1. US Department of Transportation (Federal Aviation), 2009 - **Advanced Avionics Handbook**
2. McShea, Robert E. , 2014- **Test and Evaluation of Aircraft Avionics and Weapon Systems**, 2nd edition
3. Garmin, - G1000 **Embraer Phenom 100 Pilot Guide**
4. Moir, Ian & Seabridge, Allan & Jukes, Malcolm - **Civil Avionics Systems**, 2nd edition