

Fundamentos da
Navegação Aérea
para Piloto Privado de Avião e Helicóptero

3ª Edição



São Paulo
Editora Espaço Aéreo
Maio, 2022

© Copyright de Aroldo Soares da Costa Filho

Capa: Studio Getreze

Editoração Eletrônica: Thyago Leça Fernandes

Ilustrações: O autor e Thyago Leça Fernandes

Revisão Gramatical: Agnaldo Alves

Produção Editorial: Michelle Soares Borelli

C837f

Costa Filho, Aroldo Soares da

Fundamentos da navegação aérea para piloto privado. / Aroldo Soares da Costa Filho. São Paulo : Editora Espaço Aéreo, 2022. 268p. : il.; 26 cm.

ISBN 978-65-993890-4-7

1. Transporte aéreo – Fundamentos; 2. Transporte aéreo – Aviadores; 3. Simuladores de voo; 4. Transporte aéreo – Altitudes; 5. Transporte aéreo – Magnetismo terrestre – Mapas; 6. Engenharia de tráfego; 7. Transporte aéreo – Projeções cilíndricas; 8. Transporte aéreo - Magnetismo; 9. Transporte aéreo – Aerovias; 10. Aeroportos – Planejamento - Geográficas. I. Título.

CDU 656.7

Distribuição e Comercialização:

Editora Espaço Aéreo

□ www.espacoaereo.com.br

✉ atendimento@espacoaereo.com.br

 [eaereo](https://www.facebook.com/eaereo)

 [espacoaereo](https://www.youtube.com/espacoaereo)

 [@espacoaereo](https://www.instagram.com/espacoaereo)

PREFÁCIO

Ozires Silva

Nós, os que vivemos no nosso Planeta, ou no Sistema Sideral imenso que nos circunda, não sabemos há quantos bilhões de anos preocupamo-nos pelo que podemos denominar como “a nossa LOCALIZAÇÃO”. Realmente, mesmo entre os inanimados, sempre queremos saber onde estamos! Parece difícil compreender a extensão desse questionamento – e de suas respostas –, embora a pergunta fundamental “ONDE ESTAMOS?” inúmeras vezes precisará ser respondida com segurança!

Do ponto de vista geográfico ou social, é fato que ficamos desesperados quando não sabemos onde estamos. E piora se perguntamos para onde vamos! E isso é válido para nós, e mesmo para os animais, os quais podem se movimentar. Algo simples e generalizado entre nós, que não nos molesta, salvo quando não temos as respostas! Assim, estamos em frente a verdadeiros axiomas que valem para tudo e para todos! Se formos mais longe, até a posição de uma pedra ou de uma árvore, qualquer delas estão num certo local ou posição sob a influência de um desígnio, que não temos o privilégio de compreender, salvo de formas generalizadas!

Mas ainda há perguntas. Os planetas são esféricos, o que torna o posicionamento na superfície da Terra bem mais complicado, pois passa a depender de conhecimento da Geometria. Não podemos nos esquecer que essa palavra resulta do grego “*geo*” (terra) e “*métron*” (medir), cujo significado em geral é designar propriedades relacionadas com a posição e forma de objetos no espaço, qualquer ele seja, numa base plana ou esférica!

Tudo isso para colocar e comentar algo que possa interessar a todos os possíveis Leitores deste Livro agora em suas mãos! Ele traz muito sobre a Navegação Aérea, um dos tópicos da localização ao longo de um voo. Sim, o homem que não nasceu para voar, agora voa, graças à contribuição da permanente de líderes perscrutadores do desconhecido, que sempre nos move a todos. Os esforços do Autor ajudam-nos a entender, aprender e conhecer, em todos os momentos, onde estamos na superfície do Planeta, muito mais do que nossos antepassados puderam no passado compreender. Para os que voam, em aviões cada vez mais velozes e maiores, agora temos oportunidades de encontrar respostas para o dilema permanente – “onde estamos e para onde vamos” –, a questão fundamental de tranquilidade para todos os que se deslocam, metros apenas, ou para distâncias muito maiores. Ou simplesmente sair de onde está para onde deseja chegar ou estar!

Este é um livro técnico, mostrando o que conhecíamos até há pouco e o que temos agora, muito à frente. E tudo continua mudando, através de pesquisas e lançamentos de novos horizontes e equipamentos para conhecer as localizações necessárias, por métodos e processos que hoje são mais rápidos e precisos, graças ao acúmulo crescente de conhecimento sobre a mecânica dos deslocamentos, em veículos velozes ligando a partida à chegada em maiores distâncias.

Os fenômenos físicos e parâmetros que usamos para vencer o problema da localização variaram extraordinariamente nas últimas décadas, e tudo indica que os conhecimentos de hoje continuarão a se tornar diferentes, sob métodos cada vez mais complexos para tabular, mas muito mais simples para usar. Isso não implica que não temos de estudá-los muito, pois, em algum momento, o conhecimento fundamental pode nos livrar de situações críticas, o que sempre poderá ocorrer! Em emergências, vale tudo! Eventos na aviação moderna indicam isso, tornando o conhecimento uma peça essencial àqueles que estejam nos comandos e controle de um avião moderno!

Assim, caro Leitor, o objetivo do Livro é de ser tão didático quanto possível! Levá-lo a compreender o problema da LOCALIZAÇÃO e, mais do que isso, resolvê-lo. Com habilidade e competência, o Autor indica caminhos seguros para achar as respostas, sob as luzes do que conhecemos agora. Vamos dizer que é um início de aprendizagem que tem um começo, mas não tem um final, pois novas técnicas indicarão outros caminhos.

A descoberta ou criação de novas opções depende de todos, do Autor e dos Leitores, pois vivemos num mundo instável, acumulando conhecimentos virgens para a questão enfrentada no domínio da Navegação Aérea.

Assim, vamos assumir e participar de desafios para que, no uso dos aviões de hoje, ou veículos do futuro, novos padrões precisarão ser desvendados para que a tranquilidade dos deslocamentos atinja o que todos desejam. Sair de onde está para o destino que deseja, com a segurança e tranquilidade aspiradas por todos! Diria que tal desafio é um dever de todos: do Autor e dos Leitores!

Ozires Silva é oficial da Aeronáutica e engenheiro formado pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atualmente é reitor da Unimonte, instituição particular de ensino superior localizada em Santos (SP). Liderou a equipe que projetou e construiu o avião Bandeirante. Liderou em 1970 o grupo que promoveu a criação da Embraer, uma das maiores empresas aeroespaciais do mundo. Deu início à produção industrial de aviões no Brasil. Foi presidente da Petrobras, onde atuou até 1989. Em 1990, assumiu o Ministério da Infraestrutura e, em 1991, retornou à Embraer.

APRESENTAÇÃO

Depois de mais de duas décadas ministrando aulas de Navegação Aérea, pensei que já estava na hora de escrever um livro sobre esse assunto, uma matéria tão importante para quem quer se aventurar neste mundo fascinante da aviação. Apesar de ter primeiro escrito sobre Regulamentos de Tráfego Aéreo, tanto para piloto privado como para piloto comercial, e de Voo por Instrumentos, a primeira matéria a que me aventurei dar aulas foi Navegação Aérea, incentivado pelo colega professor e também autor na área. Mesmo existindo outros títulos no mercado brasileiro versando sobre esse assunto, achei importante dar minha contribuição neste assunto, compartilhando minha vivência de ouvir as principais dificuldades dos alunos em sala de aula.

A aviação moderna é uma atividade que requer profissionais de alta capacidade técnica, que estejam dispostos a cumprir regras e procedimentos padrões. Habilidades como essas precisam ser desenvolvidas desde o início do aprendizado do aluno que aspira ser um comandante de uma moderna aeronave.

Navegação Aérea, em particular dentre as matérias básicas do curso inicial para piloto privado, é aquela que acaba por reunir todas as outras matérias, como Regulamento de Tráfego Aéreo, Meteorologia Aeronáutica, Teoria de Voo e Conhecimentos Técnicos. É justamente nela que tudo parece ficar mais prático e aplicável, então é a partir daí que o aluno/piloto precisa dar os primeiros passos no sentido de se esmerar no cumprimento de tarefas, trabalhar com maior precisão possível, desenvolver uma consciência prática de segurança de voo ao efetuar um planejamento de voo, etc. Se o aluno/piloto não começar bem, corre o risco de adquirir vícios indesejáveis que poderão minar sua carreira futura como piloto profissional.

Há uma preocupação de não simplesmente passar um conceito para ser decorado, mas explicar por que é feito daquela forma, pois assim posso proporcionar ao aluno/piloto uma base mais sólida que o capacitará a enfrentar questões ou problemas futuros mais complexos que certamente vão surgir.

O objetivo deste livro é ajudar o aluno ingressante a aprender lições basilares para sua carreira aeronáutica, bem como servir de referência para pilotos que voam segundo as regras de voo visual, atendendo ao que é preconizado como exigência para o piloto privado, segundo a ANAC.

Para alcançar essas metas, lançamos mão de algumas ferramentas didáticas como:

- Objetivos Gerais – Ao iniciar cada capítulo, será apresentado ao aluno o que ele deverá aprender ao longo da leitura.
- QR Code – Por meio de um *smartphone* ou *tablet*, ou ainda por acesso ao canal do Youtube da Editora, o aluno terá acesso a vídeos explicativos de um ou mais pontos relevantes de cada capítulo.
- Fotos e figuras tridimensionais coloridas – Esses recursos irão proporcionar visualização espacial essencial para compreensão do ambiente onde as aeronaves voam.

Prof. Soares

- Mapas Mentais: Cada capítulo é concluído com um ou mais mapas mentais com o propósito de sintetizar, conectar e organizar as informações.
- Exemplos e Exercícios – É o como fazer, como resolver determinada questão seguindo uma ordem lógica e fácil.
- Encarte com 4 Cartas - Cartas coloridas e em tamanhos reais para que seja possível fazer os problemas completos no final desse livro.
- Simulado Online ANAC – Você receberá um cartão que lhe dará acesso ao simulado online para treinamento das provas da ANAC, com questões atualizadas e divididas por assunto para fixação da matéria.

O AUTOR

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO À NAVEGAÇÃO AÉREA	12
1 – A ORIGEM E O PROBLEMA DA NAVEGAÇÃO AÉREA.....	12
2 – SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO	13
2.1 – Navegação Visual VFR.....	14
2.2 – Navegação Convencional (Rádio)	15
2.3 – Navegação de Área (RNAV).....	15
3 – O PLANETA TERRA	19
3.1 – Forma e Dimensões	19
3.2 – Movimentos da Terra	20
4 – PRINCIPAIS LINHAS E PLANOS DA ESFERA TERRESTRE	21
4.1 – Círculos da Esfera Terrestre.....	21
4.2 – Equador, Paralelos e Meridianos	22
4.3 – Gradeado Terrestre.....	24
II – LOCALIZAÇÃO DE AERÓDROMOS E COORDENADAS GEOGRÁFICAS	28
1 – INFORMAÇÕES SOBRE OS AERÓDROMOS	28
2 – COORDENADAS GEOGRÁFICAS	29
2.1 – Latitude de um Ponto.....	29
2.2 – Longitude de um Ponto.....	30
2.3 – Lendo e Escrevendo Coordenadas Geográficas.....	31
3 – TRABALHANDO COM COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	34
3.1 – Antimeridiano	35
3.2 – Colatitude.....	36
3.3 – Diferença de Latitude (DLA).....	36
3.4 – Latitude Média (LAM)	37
3.5 – Diferença de Longitude (DLO)	39
3.6 – Longitude Média (LOM)	43
III – ROTAS, DIREÇÕES E DISTÂNCIAS	50
1– ROTA ORTODRÔMICA E LOXODRÔMICA.....	50
1.1 – Rota Ortodrômica	51
1.2 – Rota Loxodrômica	52
1.3 – Aplicação Prática das Rotas Ortodrômica e Loxodrômica.....	53
2 – DIREÇÃO DE UMA ROTA.....	53
3 – DISTÂNCIA DE UMA ROTA.....	56

IV – PROJEÇÕES E CARTAS AERONÁUTICAS..... 63

1 – REPRESENTAÇÃO DA TERRA SOBRE UMA SUPERFÍCIE PLANA.....	64
1.1 – Sistema Geodésico de Referência (DATUM).....	65
1.2 – Sistema Projeção.....	67
1.3 – Classificação das Projeções	68
2 – PROJEÇÕES CILÍNDRICAS	71
2.1 – Projeção Mercator.....	71
2.2 – Projeção Transversa Conforme de Mercator	75
3 – PROJEÇÕES CÔNICAS	80
3.1 – Projeção Cônica Conforme de Lambert	80
4 – PRINCIPAIS LEGENDAS UTILIZADAS NAS CARTAS WAC, CNAV, CAP E CORREDORES VISUAIS	84

V – NAVEGAR COM ORIENTAÇÃO MAGNÉTICA..... 88

1 – O MAGNETISMO, ORIGEM E PROPRIEDADES	88
1.1 – Propriedades dos Ímãs	88
1.2 – Ímãs Naturais e Artificiais	89
2 – O MAGNETISMO TERRESTRE	90
2.1 – Magnetosfera	91
2.2 – Linhas de Força Magnética	91
3 – INCLINAÇÃO MAGNÉTICA.....	92
3.1 – Linhas Isoclínicas e Aclínicas	93
4 – DECLINAÇÃO MAGNÉTICA (DMG).....	93
4.1 – Variação da Declinação Magnética.....	94
4.2 – Linhas Isogônicas e Agônicas.....	95
4.3 – Aplicação Prática da Declinação Magnética.....	97
5 – BÚSSOLA MAGNÉTICA	99
5.1 – Desvio Bússola (Db).....	100
5.2 – Giro Direcional	101

VI – O EFEITO DO VENTO NA TRAJETÓRIA DE VOO..... 106

1 – PROA, RUMO E ROTA.....	106
1.1 – Transformando as Proas.....	107
1.2 – Rumo (RV/RM) e Rota (RO).....	109
2 – COMO MANTER A ROTA DESEJADA.....	111
2.1 – Deriva (DR)	111
2.2 – Correção de Deriva (CD).....	113
3 – REGRA PRÁTICA	114

VII – ALTITUDES E VELOCIDADES..... 120

1 – SISTEMA PITOT ESTÁTICO	121
----------------------------------	-----

2 – ALTITUDES	123
2.1 – Altímetro Barométrico	123
3 – MÚLTIPLAS ALTITUDES.....	125
3.1 – Altitude Indicada (AI) ou Altitude QNH	125
3.2 – Altitude Calibrada (AC).....	125
3.3 – Altitude Absoluta (Altura)	126
3.4 – Altitude Pressão (AP) ou Nível de Voo (FL)	126
3.5 – Altitude Densidade.....	127
3.6 – Altitude Verdadeira	128
4 – VELOCIDADES	128
4.1 – Velocidade Vertical	129
4.2 – Velocidade Horizontal.....	130
5 – VELOCIDADES AERODINÂMICAS	130
5.1 – Velocidade Aerodinâmica Indicada (IAS ou VI)	131
5.2 – Velocidade Aerodinâmica Calibrada (CAS ou VC).....	132
5.3 – Velocidade Aerodinâmica Verdadeira (TAS ou VA).....	132
6 – VELOCIDADE EM RELAÇÃO AO SOLO (GS OU VS).....	133
VIII – SISTEMA HORÁRIO	138
1 – O CONCEITO DE DIA	138
2 – O DIA SOLAR CIVIL	140
3 – RELAÇÃO ARCO E TEMPO E A HORA LOCAL (HLO)	140
4 – OS FUSOS HORÁRIOS	144
4.1 – Fuso Horário Teórico e Prático	144
5 – HORA DA ZONA (HZ), HORA LEGAL (HLE) E HORA UTC	147
6 – FUSOS HORÁRIOS NO BRASIL E O HORÁRIO VERÃO.....	151
7 – MUDANÇA DE DATA	151
IX – COMPUTADOR DE VOO	162
1 – O COMPUTADOR DE VOO DE USO EM NAVEGAÇÃO AÉREA.....	162
1.1 – Tipos de Computadores de Voo	163
2 – CONHECENDO O COMPUTADOR DE VOO	164
3 – A FACE DE CÁLCULO DO COMPUTADOR DE VOO	165
3.1 – Calculando Velocidade, Tempo de Voo e Distância	165
3.2 – Calculando Consumo Horário, Tempo de Voo e Combustível Gasto.....	168
3.3 – Calculando Altitude Densidade	169
3.4 – Calculando Altitude Verdadeira	170
3.5 – Calculando Velocidade Aerodinâmica Verdadeira (TAS/VA)	171
3.6 – Convertendo o Número Mach Para Velocidade Aerodinâmica Verdadeira (TAS/VA)	172
3.7 – Convertendo Unidade de Medidas	172

4 – A FACE DO VENTO DO COMPUTADOR DE VOO.....	174
4.1 – Calculando PV e VS (1º Caso)	176
4.2 – Calculando DV e VV (2º Caso)	177
4.3 – Calculando RO, RV e VS (3º Caso).....	179

X – PLANEJANDO O VOO VFR E A COMUNICAÇÃO RADIOTELEFÔNICA 184

1 – PLANEJAMENTO DO VOO VFR	185
1.1 – Informações Aeronáuticas no AISWEB	185
1.2 – Escolha do Nível de Cruzeiro	187
1.3 – Verificar Frequências e Cruzamentos de Espaços Aéreos	189
1.4 – Autonomia Mínima e Planejamento Alternativo	190
1.5 – Plano de Voo	191
2 – COMUNICAÇÃO RADIOTELEFÔNICA	192
2.1 – Ondas de Rádio	192
2.2 – Comprimento de Onda	193
2.3 – Propriedades Das Ondas de Rádio.....	194
2.4 – Transmissores	195
2.5 – Receptores	195
2.6 – Antena	195
2.7 – Microfone	196
2.8 – Equipamentos Mínimos	196

XI – RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE NAVEGAÇÃO AÉREA..... 200

1 – ASPECTOS GERAIS DO VOO SIMULADO	200
2 – O PERFIL DE SUBIDA E DESCIDA.....	202
2.1 – A Sequência de Cálculos do Perfil de Subida	203
2.2 – A Sequência de Cálculos do Perfil de Descida	208
3 – RESOLUÇÃO COMPLETA DO PROBLEMA DE NAVEGAÇÃO AÉREA	210
3.1 – Problema 01	211
3.2 – Problema 02	223
3.3 – Problema 03	235
3.4 – Provas Completas Para Treinamento	240
3.5 – Planilhas dos Problemas	253

REFERÊNCIAS..... 260

Introdução à Navegação Aérea

OBJETIVO:

Conhecer um dos primeiros fundamentos da navegação aérea e compreender como se construiu o gradeado terrestre a partir do cruzamento de paralelos e meridianos que possibilitou estabelecer as coordenadas geográficas.



I - INTRODUÇÃO À NAVEGAÇÃO AÉREA

1 – A ORIGEM E O PROBLEMA DA NAVEGAÇÃO AÉREA

A palavra “navegação” tem origem no latim *navigati*, que significa “nau, navio, embarcação” e também no verbo latino *agere*, que possui dez acepções diferentes, entre elas “conduzir”. No poema épico latino *Eneida*, encontra-se o verbo com o significado fazer uma nau ir adiante, segundo o filósofo e latinista Paulo Barbosa. Desse modo, podemos intuir que navegação é o deslocamento de uma nau ou nave que pode ser dirigida ou orientada para um destino.

O termo navegação foi emprestado da navegação marítima, mas a palavra “aérea” ou “avião”, derivada do latim *avis* (ave), surgiu muito antes do memorável feito de Santos Dumont.

Apesar de nós brasileiros considerarmos Santos Dumont o pioneiro da aviação, na maior parte do mundo o crédito é dado aos irmãos Wright. A França é uma exceção e atribui o título a Clément Ader, que teria voado com um aparelho mais pesado que o ar, em segredo militar, em 9 de outubro de 1890. O nome *avion*, que passou a ser usado entre os idiomas latinos, foi dado pelo próprio Clément Ader a um aparelho que ele esperava voasse em 1875. O também francês Landelle foi o primeiro a utilizar o termo num tratado chamado *Aviation ou Navigation Aérienne*, ou seja, “Aviação ou Navegação Aérea”.

Navegar é algo intuitivo e inerente ao ser humano. Quando uma criança dá os primeiros passos, ela tem de lidar com o deslocamento num determinado espaço, além de buscar uma direção para alcançar seu destino ou objetivo. Na verdade, ela está executando uma navegação.

Pode-se dizer que navegação aérea é maneira de conduzir uma aeronave de um ponto a outro através do espaço aéreo, podendo determinar sua posição a qualquer momento.

Independentemente da definição que se crie para navegação aérea, algumas ideias ou elementos não podem faltar nessa definição: **DESLOCAMENTO – DESTINO – POSIÇÃO**. Esta última é muito importante, porque se alguém não sabe onde está, só existem duas alternativas: ou essa pessoa está perdida, ou se desloca a esmo e não sabe para onde vai. De qualquer forma, em nenhum dos casos estará navegando.

Todo piloto iniciante em seus voos de treinamento começa a voar utilizando um método básico chamado Navegação Visual (*VFR – Visual Flight Rules*). Trata-se de um voo em baixa altitude em que o piloto, apesar de estar em voo, se orienta por referências na superfície.

O problema que se apresenta ao aluno/piloto num planejamento de um voo é, primariamente, determinar a direção necessária para realizar o voo pretendido, localizar as posições e medir distâncias e calcular o tempo de voo, para chegar a seu destino. Portanto, a compreensão dos termos citados é essencial.

Direção: É a medida angular a partir de uma referência no sentido horário, que expressa o sentido do deslocamento de uma aeronave.

Quando o piloto estiver executando o planejamento de voo, ou seja, fazendo o traçado da rota pretendida nas cartas aeronáuticas, essa referência sempre será o meridiano verdadeiro ou Norte Verdadeiro (NV). Em voo, o piloto se orienta pelas direções da bússola, portanto, todas as direções têm como referência o Norte Magnético (NM).

Posição: É um ponto definido por coordenadas geográficas numa carta aeronáutica ou se refere sempre a um lugar que pode ser identificado. Como já foi dito, conhecer sua posição é essencial para prosseguir para outra posição ou direção.

Distância: É a separação espacial entre dois pontos, a qual é medida pelo comprimento de uma linha que une esses dois pontos. Na carta aeronáutica, poderá ser expressa em várias unidades, tais como: Milhas Náuticas (NM) ou Quilômetros (km) principalmente.

Tempo de voo: É o intervalo de tempo, em horas e minutos, entre dois aeródromos ou posições em carta aeronáutica.

O planejamento é vital para segurança de voo, e a sua falta muitas vezes pode resultar em acidente aeronáutico. Por essa razão, é crucial que existam métodos científicos para fazê-lo.

2 – SISTEMAS DE NAVEGAÇÃO

Sistemas de navegação são procedimentos ou métodos científicos ou técnicos empregados com objetivo de fazer com que as aeronaves cumpram uma trajetória prevista na saída, em rota e em aproximações para pouso.

Os primeiros sistemas ou métodos utilizados em navegação aérea tiveram origem na navegação marítima, por exemplo, a navegação celestial ou astronômica que se baseava na posição de astros. Outros sistemas foram criados para navegação das aeronaves, mas com o avanço da tecnologia acabaram tornando-se obsoletos e substituídos, como os sistemas Ômega, Doppler, Loran, Decca, etc.

Pode-se dizer que hoje basicamente há três sistemas: Navegação Visual, Navegação Convencional e Navegação de Área.

A navegação visual desde os primórdios é usada principalmente por aeronaves leves ou qualquer outro tipo de aeronave que pretenda voar pelas regras de voo visual (VFR).

Quando se fala no voo por instrumentos ou pelas regras de voo por instrumentos (IFR), modernas aeronaves, que desenvolvem grandes velocidades e voam em altitudes elevadas, em voos no continente ou em áreas oceânicas, sem sombra de dúvida utilizam principalmente os sistemas de Navegação de Área.

A seguir serão descritos brevemente os principais sistemas utilizados, em especial a navegação visual, muito usada por pilotos privados.

2.1 – Navegação Visual (VFR)

Navegação Visual é uma técnica frequentemente empregada por aeronaves leves, normalmente com baixa velocidade e altitude. Esse método depende de boa visibilidade tanto à frente, no plano horizontal, como abaixo da aeronave, no plano vertical.

Ela consiste na observação da superfície terrestre, comparando-a com a carta aeronáutica a bordo, onde previamente foram anotadas as referências visuais identificáveis, como rios, estradas, cidades, pontes, redes elétricas ou outros pontos quaisquer característicos do terreno que possam servir de base de orientação na determinação da posição da aeronave.

Um bom planejamento antes do voo se faz necessário, e as normas de regulamento de tráfego aéreo preve na ICA 100-12, item 3.4.2.2, que o piloto em comando é o responsável por uma avaliação criteriosa dos seguintes aspectos:

- condições meteorológicas (informes e previsões meteorológicas atualizadas) dos aeródromos envolvidos e da rota a ser voada;
- cálculo de combustível previsto para o voo;
- planejamento alternativo para o caso de não ser possível completar o voo;
- condições pertinentes ao voo previstas na Documentação Integrada de Informações Aeronáuticas (IAP) e no Manual de Rotas Aéreas (ROTAER).

No voo visual, devido a suas características específicas, alguns pilotos podem ser tentados a não fazer um planejamento tão criterioso. É lógico que as exigências citadas acima se aplicam a qualquer tipo de voo, e mais do que uma norma a ser cumprida, trata-se de uma questão de segurança de voo.

2.2 – Navegação Convencional (Rádio)

Navegação convencional ou radionavegação é um sistema em que o piloto determina sua posição por meio de marcações de ondas de rádio emitidas por estações terrestres de posição conhecida.

As rotas convencionais, também chamadas aerovias, são traçadas de acordo com a posição geográfica dos auxílios no solo ou fixos de posição, determinados pelo cruzamento de radiais, magnéticas ou distância. As aeronaves, por sua vez, precisam sobrevoar esses pontos (Fig. 1-01).

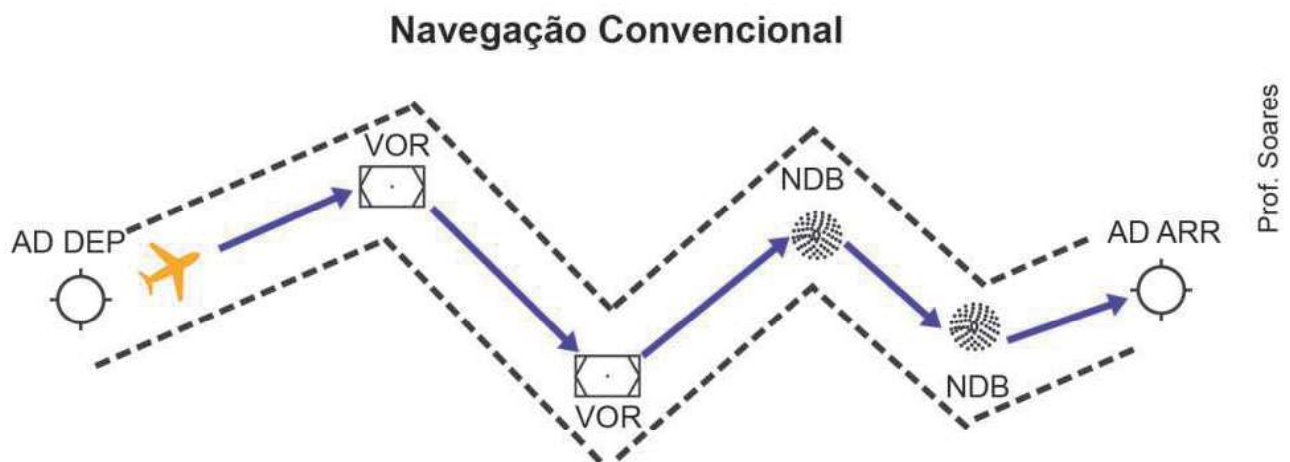


Fig. 1-01: Rotas definidas por auxílios rádio convencionais NDB e VOR.

Este método é principalmente utilizado por aeronaves no voo por instrumentos (IFR- *Instrument Flight Rules*), voo que ocorre sem referências visuais com o solo.

O mais antigo auxílio-rádio é chamado rádio-farol não direcional NDB (*Non Directional Beacon*), que emite ondas em todas as direções. Outro é o rádio-farol onidirecional VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*), que emite ondas direcionais e permite maior precisão e menores interferências. O VOR pode também estar associado a outro auxílio capaz de fazer medidas de distância da aeronave ao VOR, conhecido por DME (*Distance Measuring Equipment*).

Um voo visual (VFR) em rota pode ser planejado para utilizar uma aerovia convencional, necessitando de autorização do Centro de Controle de Área, e desde que a aeronave possua equipamentos de comunicação e navegação adequados para voar naquela rota. Ainda assim, é imperativo que a aeronave se mantenha em condições visuais.

2.3 – Navegação de Área (RNAV)

Navegação de área é um sistema de navegação que permite a operação de aeronaves em qualquer trajetória de voo desejada dentro da cobertura de auxílios à navegação terrestre ou espacial ou dentro dos limites da capacidade de equipamentos autônomos de navegação, ou de uma combinação de ambos. Os sensores do sistema de navegação de área terrestres são: VOR/DME e DME/DME; os espaciais são: GNSS (*Global Navigation Satellite System*); os equipamentos autônomos são: INS/IRS (*Inertial Navigation System/Inertial Reference System*).

Prof. Soares

A Navegação Baseada em Performance (PBN – *Performance Based Navigation*) é um novo conceito fundamentado no uso dos sistemas de Navegação de Área, em que se especificam os requisitos de performance para aeronaves, operando ao longo de uma rota, em um procedimento de aproximação ou em um espaço designado.

As especificações de navegação são um conjunto de requisitos para aeronave e tripulações necessárias para operar dentro de um conceito de espaço aéreo definido.

O Departamento de Controle de Espaço Aéreo (DECEA) tem trabalhado na implementação do PBN operacional no Brasil desde 2013, tendo por base o Doc. 9613, que é o Manual do PBN da ICAO. A introdução do PBN proporciona os seguintes benefícios:

- reduz a necessidade de manter rotas destinadas a um sensor específico;
- proporciona rotas mais diretas ligando origem/destino;
- diminuição do custo operacional;
- maior segurança e disponibilidade de espaço aéreo.

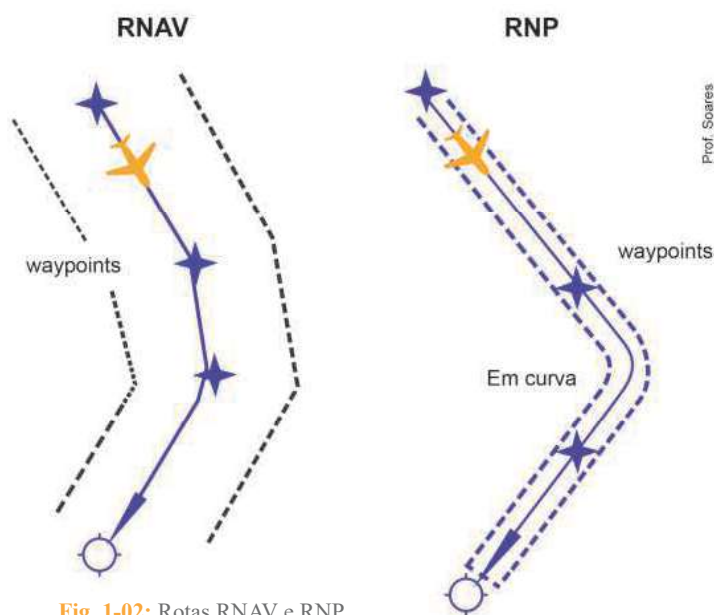


Fig. 1-02: Rotas RNAV e RNP.

Dentro do PBN há dois tipos de especificação de navegação RNAV e RNP, e em ambas as rotas as aeronaves voam direto de um ponto de coordenadas geográficas (*waypoint*) a outro, sendo que RNP é possível também voar em curva (Fig. 1-02).

A designação numérica refere-se à precisão da navegação lateral em milhas náuticas, que deverá ser alcançada pelo menos 95% do tempo de voo pelas aeronaves que operam dentro do espaço aéreo, rota ou procedimento.

Na especificação RNP (*Required Navigation Performance*), além do requisito citado, incluem-se os requisitos para monitoração e alerta de performance, por exemplo: RNP 4, RNP APCH.

Na especificação RNAV não se incluem os requisitos para monitoração e alerta de performance, por exemplo: RNAV 5, RNAV 1.

Ao observar as cartas de rota (ENRC) produzidas pelo DECEA, destinadas principalmente ao voo IFR, veja a [figura 1-03](#), constata-se que maioria das rotas estabelecidas é do tipo RNAV (na cor azul), especialmente no espaço aéreo superior. Para se ter uma ideia nas atuais cartas ENRC espaço aéreo superior brasileiro, existem apenas sete aerovias convencionais.



Fig. 1-03: Carta ENRC H2 espaço aéreo inferior (Fev/2018).

Fonte: DECEA, Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA).

No espaço aéreo inferior, as RNAVs estão em menor número, veja a *figura 1-04*, são estabelecidas a partir do FL150 (inclusive), o que inviabiliza o voo VFR nessas rotas, visto que este vai no máximo até o FL145 (inclusive).

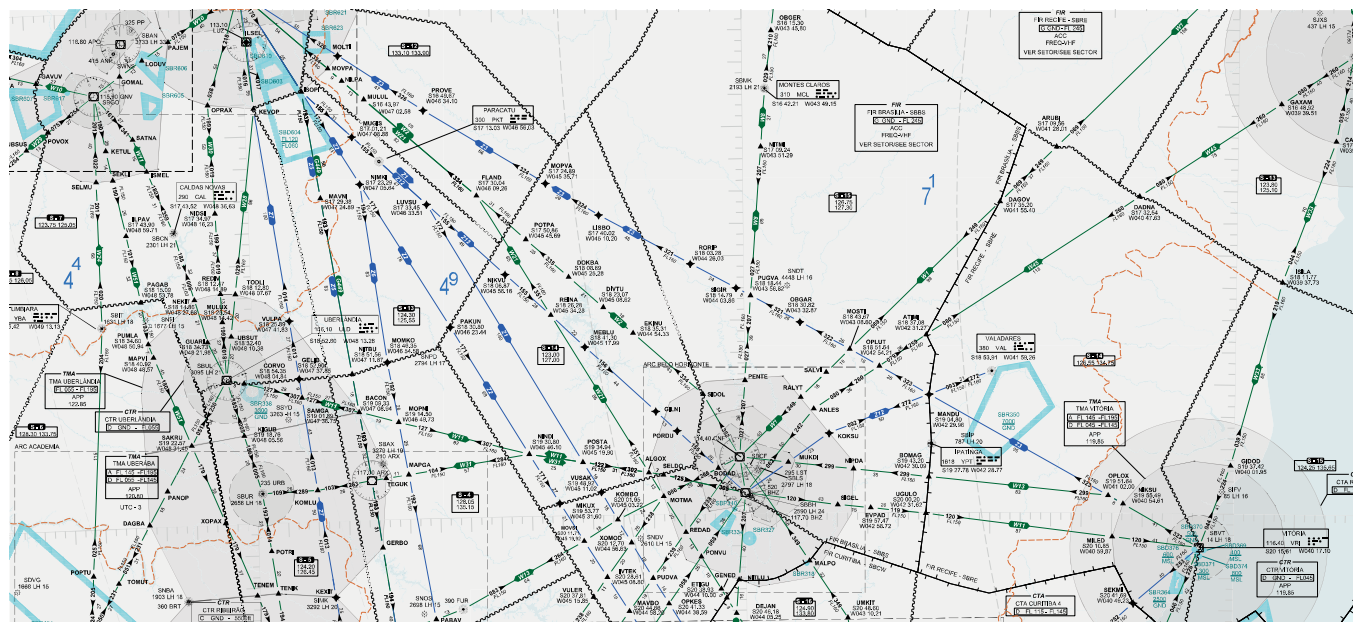


Fig. 1-04: Carta ENRC L2 espaço aéreo superior (Fev/2018).

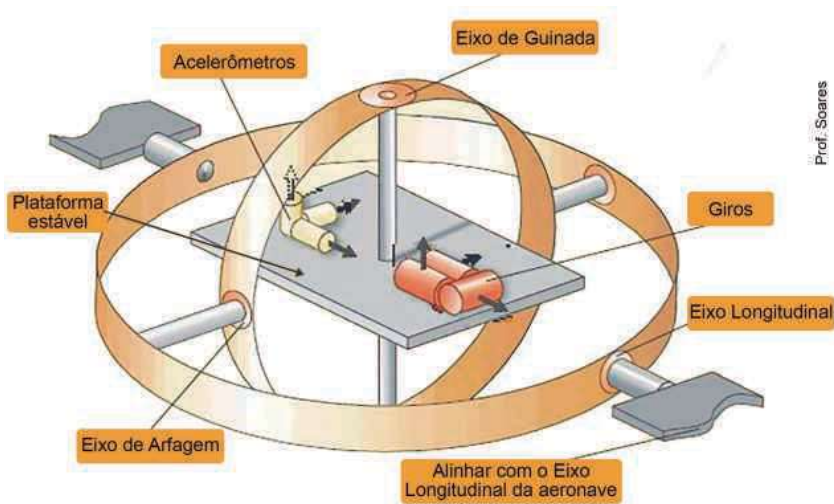
Fonte: DECEA, Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA).

As outras rotas que aparecem na cor verde, tanto no espaço aéreo superior quanto no inferior, são aerovias que utilizam o sistema de navegação convencional.

Prof. Soares

➤ Sistema Inercial de Navegação (INS/IRS)

O sistema INS/IRS é um sistema de navegação a bordo das aeronaves completamente autônomo, que permite obter e determinar a posição em relação a um ponto de partida em latitude e longitude, por meio do processamento de dados fornecidos por giroscópios e acelerômetros (Fig. 1-05 e 1-06).



A ideia básica é obter as posições posteriores tendo como partida a coordenada inserida na posição de estacionamento da aeronave no aeroporto de origem. Contudo, as medidas podem se tornar imprecisas ao longo do tempo pelo acúmulo de erros. Seu uso mais corrente é de complementação do sistema de Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).

Fig. 1-05: Diagrama simplificado do sistema inercial e o movimento da aeronave em três eixos.

➤ Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é usado na navegação de área como sensor espacial. Este termo foi utilizado pela primeira vez em 1991 pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*), para designar os sistemas de posicionamento por satélites artificiais com cobertura mundial.

Considera-se que, para obter cobertura global, uma constelação de satélites deve possuir um mínimo de 24 satélites posicionados, de forma que determinado receptor sobre a superfície terrestre possa ter no mínimo quatro satélites no horizonte para serem detectados.

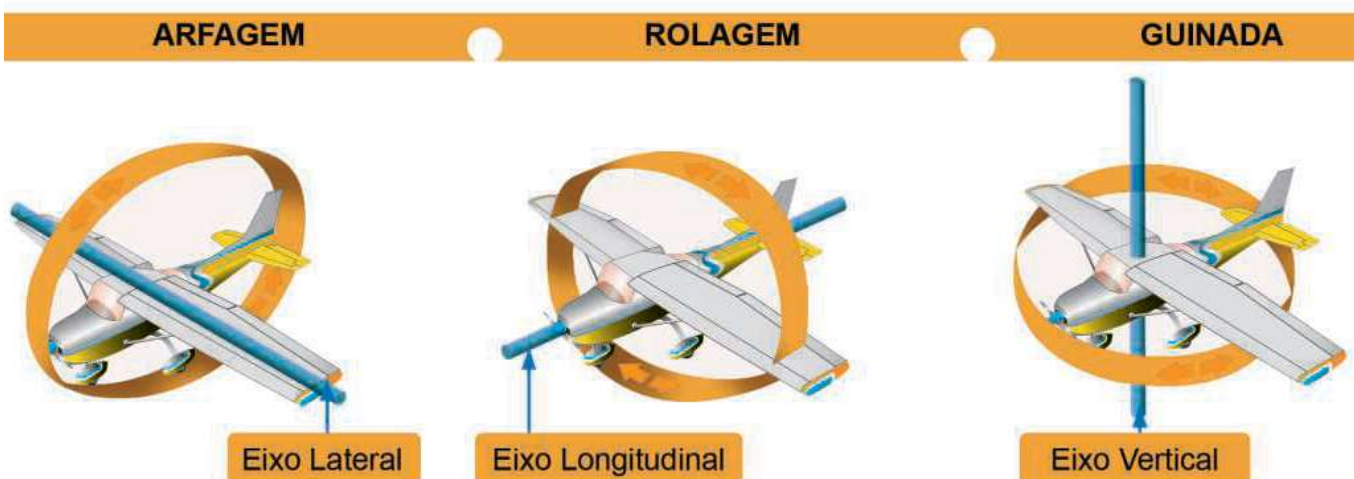


Fig. 1-06: Movimento da aeronave em três eixos.

Fonte: Pilot's Handbook Knowledge, adaptado pelo autor.

Três satélites são suficientes para determinar as coordenadas do receptor, enquanto o quarto satélite é utilizado para sincronizar o tempo.

Atualmente existem quatro sistemas de navegação: o GPS americano, completamente operacional; GLONASS russo, completamente operacional; GALILEO da União Europeia, parcialmente operacional, e o COMPASS chinês, parcialmente operacional.

Estes sistemas estabelecem o posicionamento geoespacial autônomo por meio do uso de satélites artificiais, e a determinação da posição da aeronave está baseada na interseção de quatro vetores, cada um com origem no receptor e magnitude conhecida.

Tudo se resume a medir o tempo que o sinal emitido por cada satélite demora para atingir a nossa antena receptora. Considerando que a velocidade do sinal, no espaço vazio, se propaga a 300.000 Km/s, ao multiplicarmos essa velocidade pelo tempo medido obtemos a distância, que resulta na posição horizontal por meio de coordenadas geográficas (latitude e longitude) e posição vertical por meio da altitude.

O sistema que utiliza satélites atende a todas as necessidades da navegação aérea com maior precisão que a navegação convencional.

3 – O PLANETA TERRA

Inicialmente imaginou-se que a superfície da Terra era plana, pois essa era percepção comum. Com o decorrer dos tempos, descobriu-se que o planeta era aproximadamente esférico.

3.1 – Forma e Dimensões

Segundo Jonildo Barcelar, os primeiros registros conhecidos do conceito da Terra esférica são da Grécia antiga. Acredita-se que por volta dos séculos 5 ou 6 a.C. alguns matemáticos gregos já concebiam uma Terra esférica. Além das evidências verificadas na Astronomia, podia-se perceber a curvatura da superfície da Terra, por exemplo, observando os navios se afastando no horizonte. Com apenas 10km de distância da costa, parte do casco de um navio já não é visível.

A ciência que estuda a forma e as dimensões da Terra, a posição de pontos sobre sua superfície e a modelagem do campo de gravidade é chamada de Geodésia.

Em recentes medições geodésicas precisas, ficou estabelecido que a superfície teórica que mais se aproxima da forma real da Terra é um Elipsoide de Revolução, e como tal ela é achatada nos polos.

Elipsoide de Revolução é a forma geométrica gerada pela rotação de uma semi-elipse em torno de um de seus eixos.

Os parâmetros do Elipsoide Internacional de Referência são:

- **Diâmetro equatorial:** 12.756,78km
- **Diâmetro polar:** 12.713,82km

Prof. Soares

Temos então três superfícies a considerar, conforme a *figura 1-07*: a superfície física limitante do relevo topográfico; a superfície geoidal, que seria a figura formada pela superfície do Nível Médio do Mar (*MSL – Mea Sea Level*), supondo-o recobrendo toda a Terra, prolongando-se através dos continentes; e o elipsoide, que é uma figura formada pela rotação da Terra em torno do semieixo menor de uma elipse (*Fig. 1-08*).

A diferença deste elipsoide para uma superfície esférica é muito pequena, aproximadamente 43km. Desta forma, para cálculos de navegação aérea, a Terra é considerada uma esfera perfeita. Por essa razão, embora se aprenda desde cedo que a Terra é achatada nos polos, quando se compra um globo terrestre ela tem a forma esférica.

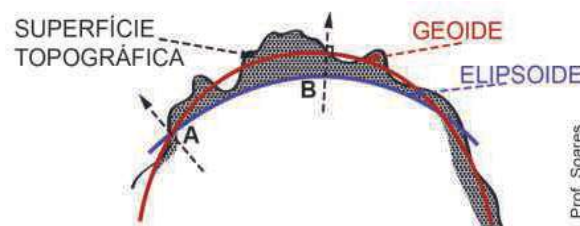


Fig. 1-07: Representação das três superfícies consideradas.

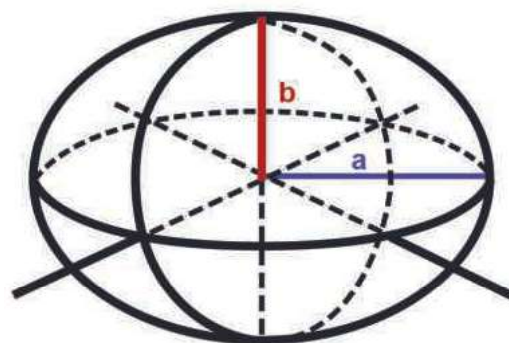


Fig. 1-08: Representação dos semieixos.

3.2 – Movimentos da Terra

Quando olhamos para o solo terrestre, temos a impressão de que ele está parado, mas sabemos que nada está imóvel no universo. A Terra na verdade realiza vários movimentos, sendo dois principais: rotação e translação, que acontecem simultaneamente. Por causa do tamanho do nosso planeta, não conseguimos sentir em nosso cotidiano esses movimentos.

O movimento de rotação faz com que a Terra gire em torno do seu próprio eixo no sentido de oeste para leste. Por essa razão, há um movimento aparente do Sol no sentido contrário de leste para oeste. Com a rotação temos a noção de dia e noite: na metade da superfície do planeta voltada para o Sol temos o dia, enquanto na outra metade escura temos a noite.

O encontro do eixo de rotação com a superfície da Terra determina a posição dos polos geográficos. O polo Norte é o que se situa na direção da Estrela Polar, chamada de Ursa Minoris, e o polo Sul é diametralmente oposto.

Translação é o movimento que a Terra faz ao redor do Sol. Chamado de órbita terrestre, este movimento é elíptico (forma de elipse) e leva um ano para completar a volta (*figura 1-09*).

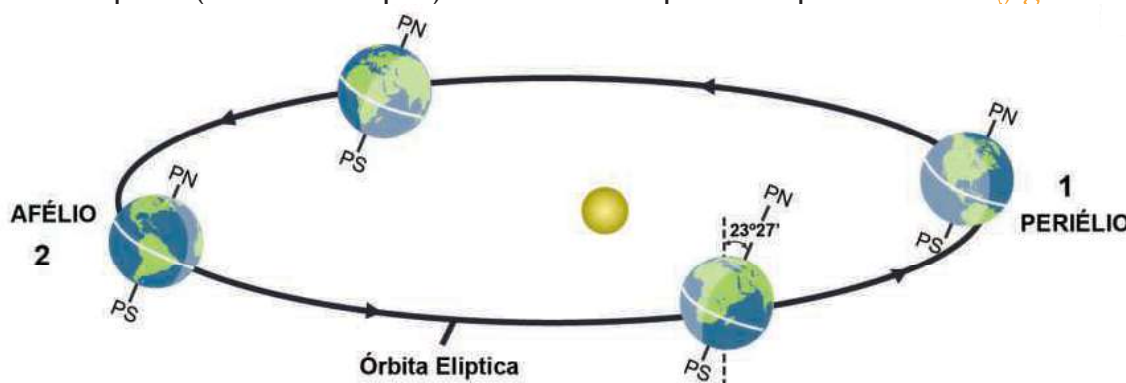


Fig. 1-09: Movimento de translação da Terra e a inclinação do eixo terrestre.

Ao ver um globo terrestre, não lhe parece que há alguma coisa errada? Veja a *figura 1-10*. Quando era criança, confesso que ficava intrigado ao ver o globo inclinado, porque não havia simetria. Mais tarde descobri que essa inclinação se justifica, pois de fato o eixo de rotação da Terra está inclinado $23^{\circ}27'$ em relação ao plano de translação. Observe as *figuras 1-09* e *1-10*: são absolutamente coerentes.

Esta exata inclinação proporciona um espetáculo de rara beleza: as estações do ano. Note que no Periélio (posição 1 em que a Terra está mais próxima do Sol) o hemisfério sul fica mais exposto ao Sol, tem-se aí verão. Já o hemisfério norte fica menos exposto, tem-se aí inverno. Já no Afélio (posição 2 em que o Sol está mais distante da Terra) acontece o contrário: verão no hemisfério norte e inverno no hemisfério sul. As estações primavera e outono ocorrem quando a Terra encontra-se nas posições intermediárias na órbita terrestre entre o Afélio e o Periélio.



Fig.1-10: Globo terrestre representa a inclinação da Terra.

4 – PRINCIPAIS LINHAS E PLANOS DA ESFERA TERRESTRE

O Sistema de Coordenadas Cartesianas, mais conhecido como Plano Cartesiano, foi criado por René Descartes com o objetivo de localizar pontos. A ideia é simples: basta estabelecer dois eixos (x) e (y), a interseção deles é a origem, e a posição do ponto é dada pela distância do eixo (x) e do eixo (y). Veja a *figura 1-11*.

O sistema de Descartes foi concebido no plano, apesar disso podemos associar esse sistema à geometria esférica para localizar um ponto na superfície terrestre. Mas para isso precisamos tomar os conceitos de círculo máximo e menor.

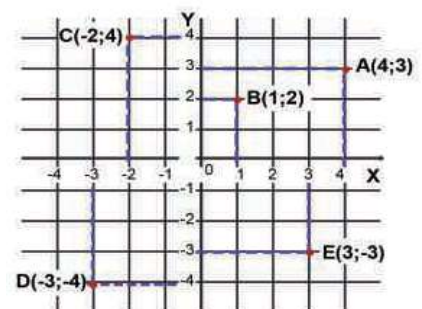


Fig. 1-11: Sistema de coordenadas cartesianas.

4.1 – Círculos da Esfera Terrestre

Círculo máximo é o maior círculo que pode ser traçado na superfície terrestre, cujo plano passa pelo centro da Terra, dividindo-a em duas partes iguais. Podem ser traçados infinitos círculos máximos na superfície terrestre. De forma prática, quando precisamos dividir uma laranja ao meio, procuramos passar a lâmina da faca no centro da fruta, e com isso a dividimos em partes iguais (*Fig. 1-12*).



Fig. 1-12: Exemplos de círculos máximos.

Prof. Soares

Círculo menor é um círculo cujo plano não passa pelo centro da Terra, dividindo-a em duas partes desiguais, conforme exemplos mostrados nas *figuras 1-13 e 1-14*.



Fig. 1-13: Exemplo de círculo menor.

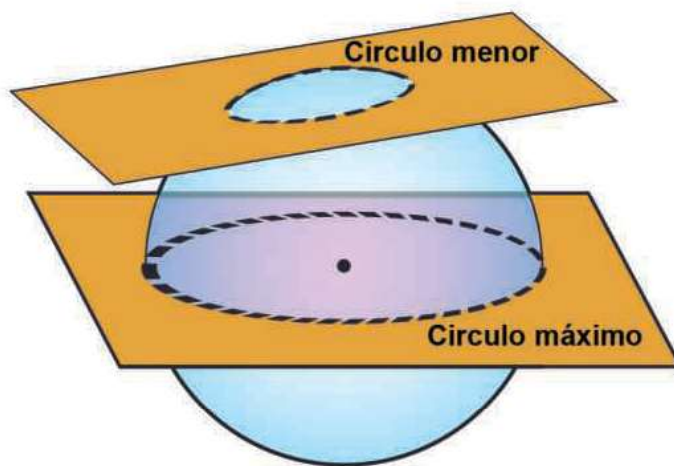


Fig. 1-14: Comparação do círculo menor com círculo máximo.

O sistema desenvolvido por Descartes possuía dois referenciais: um horizontal, o eixo (x) chamado de abscissa, e um eixo (y) vertical, chamado de ordenada. Esses mesmos referenciais precisam ser estabelecidos para superfície esférica da Terra.

4.2 – Equador, Paralelos e Meridianos

A linha do Equador corresponde ao referencial horizontal na esfera terrestre e é definido como o único círculo máximo, cujo plano é perpendicular ao eixo polar que divide a terra em dois hemisférios – Norte e Sul –, conforme as *figuras 1-15 e 1-16*.



Fig. 1-15: Linha do Equador e o eixo polar.

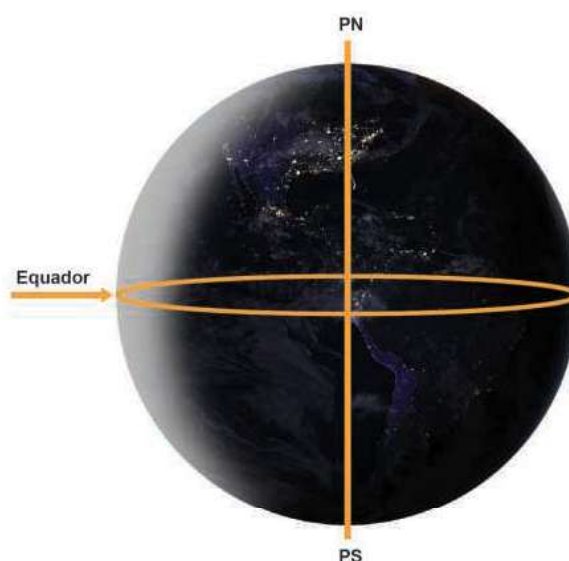


Fig. 1-16: Linha do Equador perpendicular ao eixo polar.

Os paralelos são círculos menores, cujos planos são paralelos ao plano do Equador, por consequência também serão perpendiculares ao eixo polar. Os paralelos são denominados por sua distância angular (em graus) a partir do Equador, de 00° até 90° , seguido da letra **N** (*North*) ou **S** (*South*) do hemisfério correspondente, conforme as *figuras 1-17*.

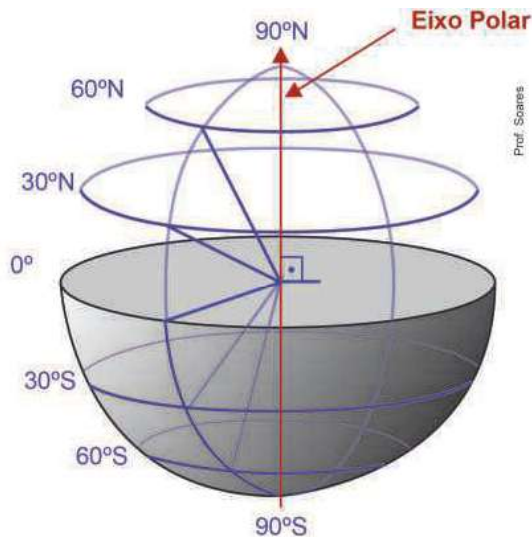


Fig. 1-17: Paralelos com suas denominações



Escaneie para assistir o vídeo ou acesse canal da Espaço Aéreo no Youtube.

O Meridiano de Greenwich corresponde ao referencial vertical na esfera terrestre, e é assim chamado por passar em uma localidade de mesmo nome, exatamente pelo centro do Observatório Real, nos arredores de Londres, Inglaterra. Foi definido por acordo internacional em 1884, como referencial chamado de primeiro meridiano, dividindo o globo terrestre em ocidente e oriente.

Os meridianos são semicírculos máximos limitados pelos polos, denominados por sua distância angular (em graus) a partir do Meridiano de Greenwich 000° até 180° , seguido da letra **W** (*West*) ou **E** (*East*) de acordo com o lado correspondente (*Fig. 1-18 e 1-19*).



Fig. 1-18: Representação dos meridianos.

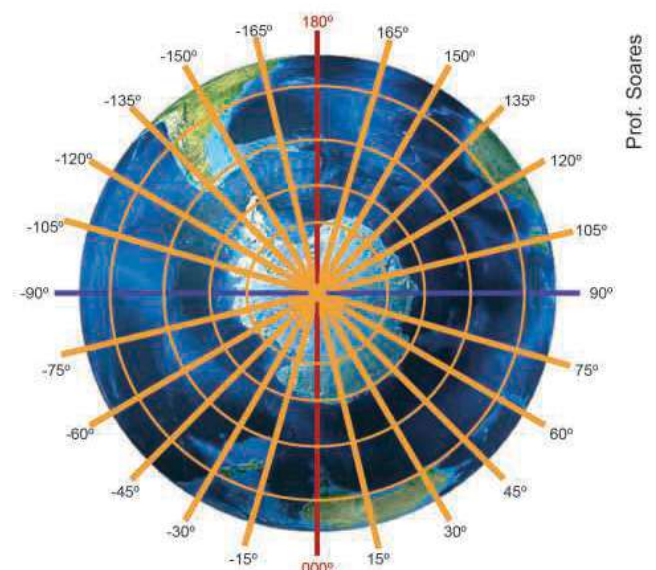


Fig. 1-19: Vista dos meridianos pelo Polo Norte e suas denominações.

4.3 – Gradeado Terrestre

É o conjunto de graticulas, ou seja, uma rede de pautas ortogonais formadas por paralelos e meridianos numa esfera terrestre e em uma carta. Observe as *figuras 1-20 e 1-21*.

Em qualquer ponto na Terra, exceto nos polos, sempre passará um paralelo e um meridiano, por isso é possível determinar ou escrever as coordenadas de um ponto qualquer.

As cartas ou mapas estão sempre orientados para o Norte Verdadeiro (NV), assim as linhas horizontais sempre representarão os paralelos ou, quando for o caso, o Equador, e as linhas verticais sempre representarão os meridianos. Na carta ou mapa é fácil perceber que paralelos e meridianos se cruzam em ângulos retos (90°). Quando olhamos para o gradeado terrestre, aparentemente isso não acontece, mas na verdade o cruzamento de paralelos e meridianos na esfera terrestre também ocorre em ângulos retos (90°).

Quando olhamos a *figura 1-20* da esfera terrestre, um corpo tridimensional, é preciso entender que ele foi planificado na folha de papel, e isso causa uma ilusão de ótica. No entanto, se você tiver em mãos um globo terrestre, poderá verificar que em qualquer ponto da Terra os paralelos e meridianos se cruzam a 90° . A explicação técnica é a seguinte: Por definição, o Equador é perpendicular ao eixo polar, e os paralelos são paralelos ao Equador, logo serão também perpendiculares ao eixo polar. Já os meridianos são semicírculos que contêm o eixo polar, logo os paralelos e meridianos são perpendiculares entre si.

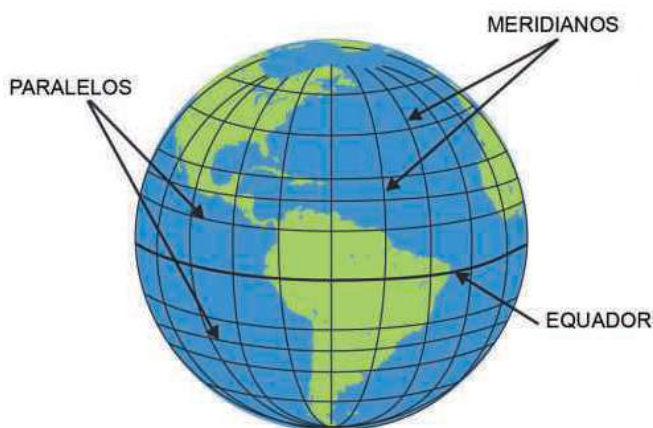


Fig. 1-20: Gradeado terrestre na esfera terrestre.

Talvez ainda pare uma dúvida e você esteja pensando que não pode existir um ângulo reto com uma curva. Eu preciso lembrá-lo de que não estamos lidando aqui com a geometria plana, mas com a geometria espacial. Lembre-se ainda de que o raio de uma circunferência sempre intercepta a circunferência num ângulo de 90° .

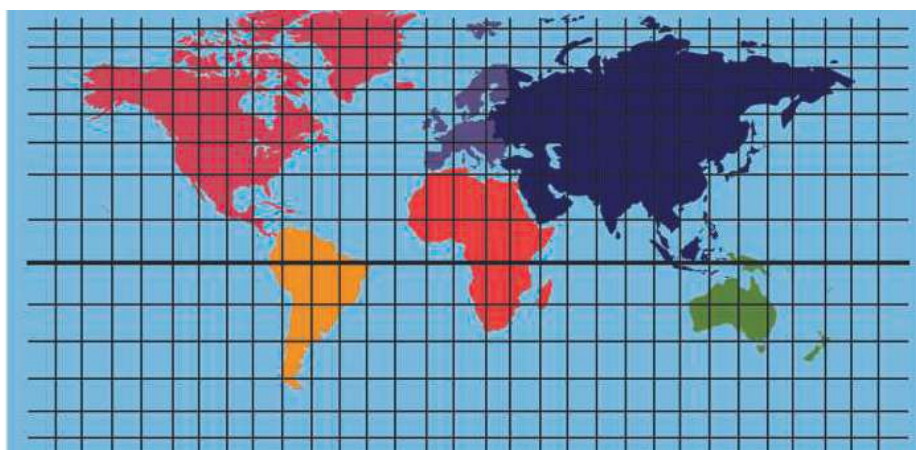


Fig. 1-21: Gradeado terrestre numa carta aeronáutica terrestre.

Dicas Importantes da Navegação Básica



- **Navegação:** Navegar é poder se deslocar, determinando a direção que se deve seguir para alcançar um destino proposto e a qualquer momento determinar sua posição.
- **A Terra:** É considerada uma esfera perfeita para navegação aérea. Executa dois movimentos: rotação e translação.
- **Círculo Máximo:** Maior círculo que pode traçado na esfera terrestre, cujo plano passa pelo centro da Terra, dividindo-a em duas partes iguais.
- **Círculo Menor:** É um círculo cujo plano não passa pelo centro da Terra, dividindo-a em duas partes desiguais.
- **Equador:** É o único círculo máximo perpendicular ao eixo polar, que divide a Terra em dois hemisférios: Norte e Sul.
- **Paralelos:** São círculos menores paralelos ao Equador e que vão em direção aos polos. Variam de 00° no Equador até 090° ao Norte ou Sul.
- **Meridianos:** São semicírculos máximos limitados pelos polos, variam de 000° no meridiano de Greenwich até 180° .

