

Jorge Henrique Bidinotto
Julia Canhadas Ribeiro

Princípios de Aviônica e Navegação
Capítulo 1 - Navegação Aeronáutica

São Carlos
Dezembro de 2017

Lista de ilustrações

Figura 1 – Diagrama com a representação da interferência do vento à proa	8
Figura 2 – Exemplo de indicação da altitude no painel da aeronave	9
Figura 3 – Componentes internos de um medidor anemométrico	9
Figura 4 – Componentes internos de um medidor por ponto fixo	10
Figura 5 – Diminuição do espaço vertical entre aerovias	11
Figura 6 – Limites estipulados pela ETOPS-60	12
Figura 7 – À esquerda, os limites estipulados pela ETOPS-120; à direita, pela ETOPS-180	12
Figura 8 – Superposição do limite das ETOPS	13
Figura 9 – Estipulação do limite de uma ETOPS	13
Figura 10 – ETOPS-180 e ETOPS-240, respectivamente	14

Sumário

Introdução	5
1 Navegação	7
1.1 Conceito geral	7
1.2 Tempo Espaço e Posição	7
1.3 <i>Reduced Vertical Separation Minimums (RVSM)</i>	10
1.4 <i>Extended Operations – ETOPS</i>	10
Referências	15

Introdução

A motivação deste estudo advém da Disciplina de Projetos de Aeronaves do Departamento de Engenharia Aeronáutica da Escola de Engenharia de São Carlos; nesta disciplina, é proposto o desenvolvimento de um projeto aeronáutico. Este pressupõe, não somente a estruturação da aeronave em si, mas de um plano completo de uma aeronave executiva, tanto em termos operacionais, em termos sistêmicos e em viabilização econômica do projeto.

Para tanto, é importante um levantamento dos possíveis sistemas de navegações a serem implantados no projeto, assim como entender os aspectos técnicos de funcionamento, a obrigatoriedade de alguns métodos, funcionalidades adjuntas e as vantagens ou desvantagens respectiva à técnica.

Neste sentido, este trabalho apresenta um panorama histórico, aprofundando o estudo nas técnicas de maior importância para a atualidade, no sentido de prover informações suficientes para que o grupo possa permitir a integração de características obrigatórias ao plano de projeto. Ademais, são levantados alguns conceitos técnicos iniciais, a fim de proporcionar um entendimento mais assertivo, nivelando conhecimentos necessários ao assunto.

1 Navegação

1.1 Conceito geral

No universo aeronáutico, o conceito de ‘navegação’ vai muito além do deslocamento de um ponto inicial a um ponto final. Isso porque este deslocamento requer planejamento e preparo com eventuais problemas que possam vir a interferir na missão. Durante este procedimento, todas as informações (Tempo, Espaço e Posição) inerentes à rota devem estar atualizadas e dispostas à tripulação. É conhecido como TSPI, ou *Time, Space, and Position Information*. Na prática, estas informações não podem ser obtidas diretamente, dependendo de grandezas mensuráveis, as quais podem ser tratadas para fornecer os dados desejáveis. Sendo assim, Latitude e Longitude podem ser traduzidas em posição; a proa indica a direção do deslocamento da aeronave; a variação de posição nos três eixos fornecem a velocidade; e, como um complemento da posição, tem-se – em específico – a altitude. A acurácia e a precisão dessas informações são cruciais à qualidade e segurança desta operação, à medida que o espaço aéreo tem se tornado mais denso. Depende-se, portanto, da escolha e da calibração¹ dos instrumentos de navegação. Existem duas formas de calibragem de um instrumento: Por meio de radar em solo; ou utilizando um GPS. Contudo, o GPS ainda não é certificado como um instrumento primário de navegação

¹*Calibração : conjunto de processos utilizados para garantir que os equipamentos envolvidos num processo de medição estejam de acordo com as normas estabelecidas. Calibragem é a realização dos processos de calibração.*

1.2 Tempo Espaço e Posição

Posição:

A inteligência para mapeamento de posição se resume à Latitude e à Longitude. Lembrando que as linhas de latitude variam em $+90^\circ$ ou -90° , dividindo o globo com linhas paralelas – denominados Paralelos - à linha do Equador ; Já a longitude varia $+180^\circ$ ou -180° , sendo o Meridiano de Greenwich o marco zero; estas linhas são chamadas de meridianos.

Proa:

Trata-se de um ângulo medido entre dois pontos, e com referência ao norte. De início, a proa é medida em uma escala aeronáutica, podendo ser convertida posteriormente a graus, por meio de linhas isogônicas². Durante o voo, utiliza-se como referência a proa magnética; no entanto, os mapas são referenciados em proa verdadeira. Para obter-se o valor da proa magnética, basta somar ou subtrair o valor da correção ao valor da proa verdadeira. Para a definição do sinal (negativo ou positivo), vale o mnemônico “*East is Least (-) and West is Best (+)*”.

²*Linhas isogônicas: Em uma carta aeronáutica, linhas isogônicas interligam pontos de mesma declinação magnética*

Velocidade:

A priori, é importante ter em mente as diferentes medidas de velocidade indicadas pela aeronave.

- IAS – *Indicated AirSpeed* ou Velocidade Indicada: é a velocidade medida diretamente pelo Tubo de Pitot e posteriormente computada pelo ADC;
- CAS – *Calibrated Airspeed* ou Velocidade Calibrada: é a velocidade corrigida. Leva em conto os efeitos da variação de ângulo de ataque e a interferência de vórtices gerados pela fuselagem durante a medição;
- EAS – *Equivalent Airspeed* ou Velocidade equivalente: incluída correção da compressibilidade, cuja consideração deve ser feita a partir de 200 kt (nós) de velocidade;
- TAS – *True Airspeed* ou Velocidade Verdadeira: trata-se da velocidade equivalente corrigida com os efeitos de altitude.

Na prática, pode-se considerar que a TAS aumenta 2% a mais que a IAS a cada aumento de 1000ft de altitude.

É importante considerar a interferência do vento para o cálculo da velocidade. Isso porque a proa da aeronave e a trajetória não possuem a mesma direção: existe um “Drift Angle” entre a proa verdadeira e a trajetória. Dessa forma, a trajetória é a soma vetorial entre a trajetória e o vento cruzado, representado na Figura 1.

Vento cruzado é a componente de vento perpendicular à proa verdadeira da aeronave.

Por outro lado, para se obter a velocidade em relação ao solo, a relação vetorial trata-se de subtrair da velocidade verdadeira o vento de proa.

Vento de proa é a componente de vento paralela à proa verdadeira da aeronave.

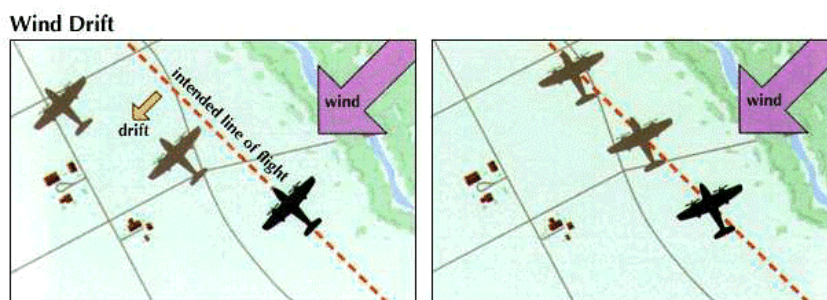


Figura 1 – Diagrama com a representação da interferência do vento à proa

Altitude:

É importante a distinção entre dois conceitos: a Altura e a Altitude; Altura relaciona-se à distância vertical de um ponto até uma superfície; nesse caso, trata-se da distância entre a aeronave e o solo. Por outro lado, Altitude é distância vertical de um ponto em termos absolutos. Ou seja, a distância vertical da aeronave em relação ao nível do mar. Para a medição de altura, adota-se metodologia de rádio altímetro. O aparelho é composto de um módulo transceptor e de duas antenas direcionais. O princípio de funcionamento é

o de um radar: o sinal é modulado por meio do transceptor, e transmitido pela antena transmissora. A onda sonora, ao atingir o solo, é refletida e chega na antena receptora. O sinal é então restaurado ao módulo do rádio altímetro, para que seja interpretado e convertido à unidade de altura. Um exemplo de mostrador de altitude está na Figura 2 Durante o pouso e a decolagem, o uso do rádio altímetro é priorizado, visto que sua precisão é superior a do altímetro barométrico (discutido posteriormente); contudo, existe uma restrição de operação do equipamento, correspondente a 5000 pés de distância do solo.



Figura 2 – Exemplo de indicação da altitude no painel da aeronave

Para a medição de altitude, existem dois métodos difundidos: por meio de barômetro ou por meio de ponto fixo. O altímetro barométrico é basicamente um “comparador de pressões”: capturada a pressão estática local ambiente, a altitude é obtida por meio do padrão de pressão x altitude, considerando correções ambientais, o que penaliza a precisão e a acurácia da medida obtida. Nesse sentido, faz-se uso de instrumentos anemométricos. Pode-se visualizar na Figura 3. Já a figura 4 demonstra a medição por meio do ponto fixo.

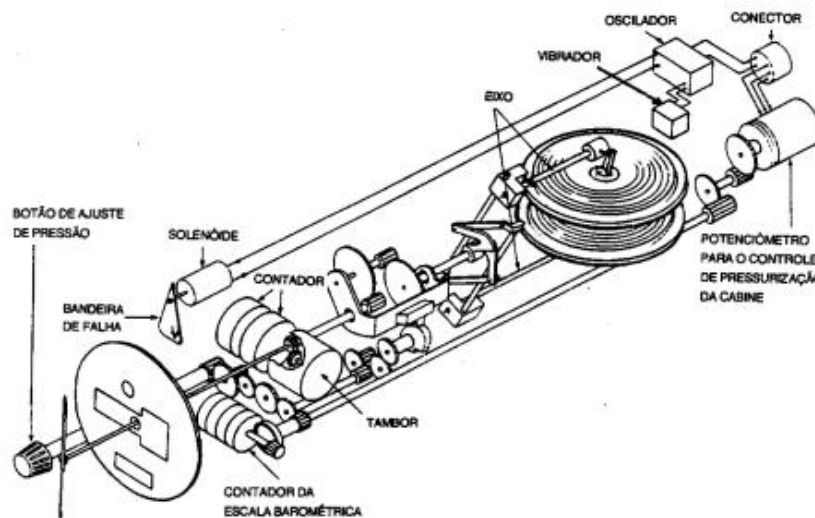


Figura 3 – Componentes internos de um medidor anemométrico

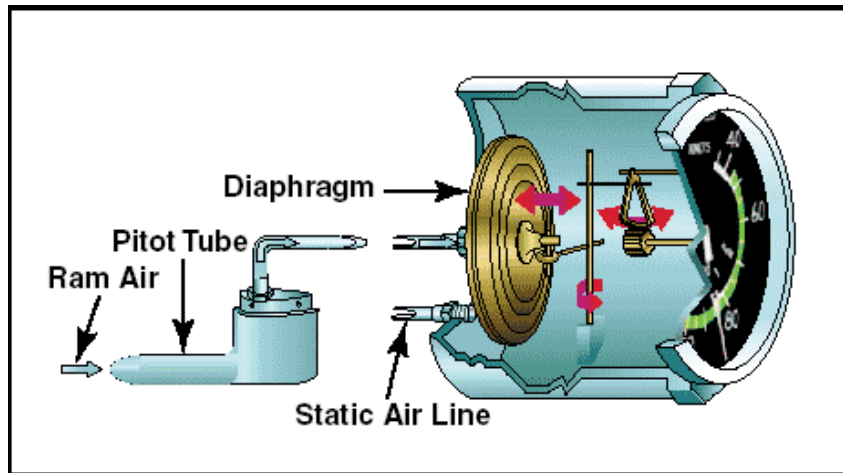


Figura 4 – Componentes internos de um medidor por ponto fixo

1.3 *Reduced Vertical Separation Minimums (RVSM)*

O espaço aéreo, entre 29.000 (FL290) e 41.000 (FL410) pés era, inicialmente, dividido em aerovias, a cada 2000 pés, sempre com o sentido de deslocamento alternado. Com a intensificação do uso de vias aéreas, foi necessário aumentar a densidade de aerovias, diminuindo, portanto, a separação vertical entre elas, conforme representado na Figura 5. Vinculado a isto, os instrumentos de posicionamento foram bastante aprimorados, no sentido de assegurar uma maior precisão de medição em voo (ADC). A partir de 1958, iniciou-se a implementação do RVSM, em que a separação padrão entre aerovias passaria a ser de 1000 pés, e dobraria o número de rotas. Só entre os anos de 1997 e 2005 a RVSM já havia sido implementada na Europa, no norte da África, nas Américas do Norte e do sul, no sudeste asiático, no norte e no sul do Atlântico e no Pacífico. O último país a adotar o RVSM foi a Federação Russa, apenas em 2011.

Apesar do aumento de rotas, uma distância vertical a 1000 pés ainda não parece ser muito otimizada. Contudo, este cuidado se deve ao fato de que os altímetros barométricos (presentes em todas as aeronaves), perdiam considerável precisão a partir da altitude de 29.000 pés (FL290).

Além da implementação deste sistema pela autoridade aeronáutica, para que uma aeronave possa voar nessas condições, ela precisa obter uma certificação apropriada. Isto é, deve-se provar que os instrumentos a bordo são precisos o suficiente para assegurar os modos RVSM em todo seu envelope de pesos, velocidades e altitudes (entre FL290 e FL410). Deve-se conferir os dados do altímetro a um sistema especial de GPS, chamado *GMU – GPS Monitoring Unit*.

Caso a aeronave não obtenha este tipo de certificação, ela não está autorizada a realizar qualquer operação em altitudes superiores a 29.000 pés.

1.4 *Extended Operations – ETOPS*

Esta sigla teve origem, na verdade, de um acrônimo *Extended Range Operations with Two-Engine Airplanes*, mas foi alterado pela FAA já que a regulamentação passou a abranger aeronaves com mais de dois motores. A ETOPS foi um resultado da FAR Parte 121.1615, justamente no sentido de permitir rotas proibidas pela própria FAR, uma vez

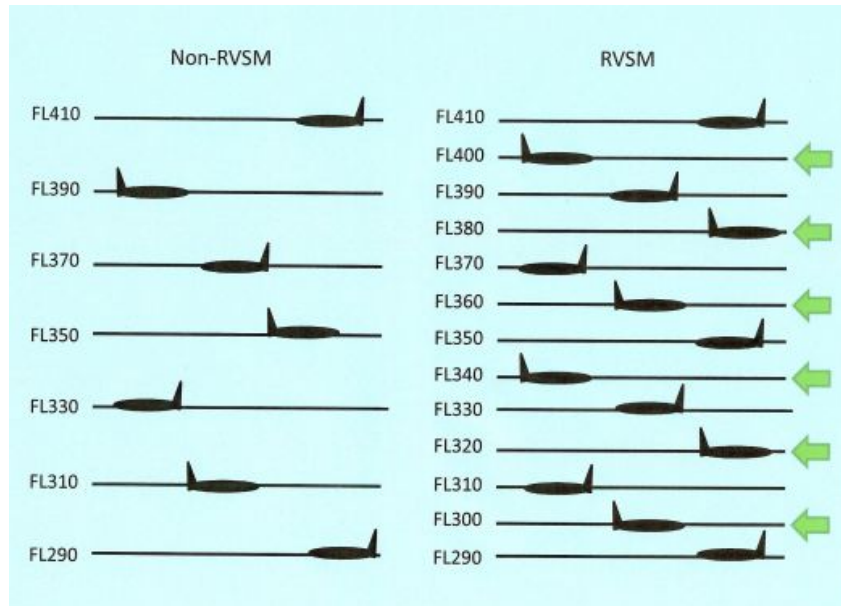


Figura 5 – Diminuição do espaço vertical entre aeronaves

respeitadas algumas condições. Dessa forma, A ETOPS possibilitou operação em rotas cuja alocação de aeroportos/aeródromos era bastante esparsa. Para obter a aprovação da ETOPS, a aeronave deve denotar-se autônoma o suficiente para chegar ao aeródromo da máxima distância permitida em segurança, nas condições críticas estipuladas. Ademais, a própria empresa aérea deve mostrar aptidão para um atendimento de uma possível pane nos aeródromos selecionados para possibilitar a rota. A primeira ETOPS está disposta conforme a Figura 6

"An airplane flight operation during which a portion of the flight is conducted beyond 60 minutes from an adequate airport for turbine-engine-powered airplanes with two engines, and beyond 180 minutes for turbine-engine-powered passenger-carrying airplanes with more than two engines. This distance is determined using an approved one-engine inoperative cruise speed under standard atmospheric conditions in still air."

Far 121.161

Com a ampla difusão do motores a jato, algumas permissões foram publicadas pelo ICAO, possibilitando um afastamento de até 90 minutos para bimotores. Mas foi apenas em 1985 que a FAA e o ICAO chegaram ao acordo de liberar a ETOPS-120 para bimotores. Com esta permissão, a maior parte dos voos intercontinentais passou a ser possível por meio de bimotores. Esta decisão prejudicou modelos com mais de dois motores, visto que são menos rentáveis e tinham, como maior vantagem, a possibilidade de realizar voos intercontinentais. Um ano mais tarde, a ETOPS-180 passou a abranger os bimotores, o que praticamente tornou inviável o uso de tri e quadrimotores. Com a integração da ETOPS 180, cerca de 95% da superfície terrestre passou a ser navegável por aeronaves bimotoras. Ambas as ETOPS 120 e 180 pode ser visualizadas na Figura 7. Já no ano de 2001, a Boeing entrou com um pedido para que a ICAO permitisse 15% de acréscimo no tempo limite, a ETOPS-207 para o modelo 777. A proposta foi vetada, no entanto, pelo ICAO e pela JAA. Apesar disso, estão em meios de discussão de uma possível adoção da ETOPS-240, podendo ainda haver a ETOPS-330.

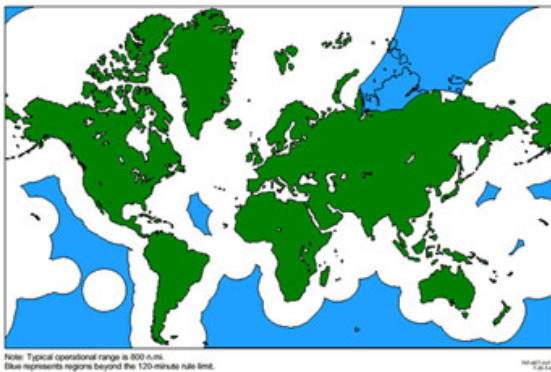
Observa-se a sobreposição de diferentes ETOPS na Figura 8. Ademais, é possível compreender a limitação conforme o esquema apresentado na Figura 9. As ETOPS-180 e etops-240 estão apresentadas na Figura 10.

The 60-Minute Rule Limits Twin-Engine Route Opportunities



Figura 6 – Limites estipulados pela ETOPS-60

120-Minute ETOPS Rule Greatly Expands Route Opportunities



180-Minute ETOPS Rule Further Expands Route Opportunities



Figura 7 – À esquerda, os limites estipulados pela ETOPS-120; à direita, pela ETOPS-180

A **FAR 121.161** Restringia todos os tipos de operações civis de aeronaves a rotas que sempre estivessem a no máximo 60 minutos de distância de algum aeroporto, considerando um motor inoperante



Figura 8 – Superposição do limite das ETOPS

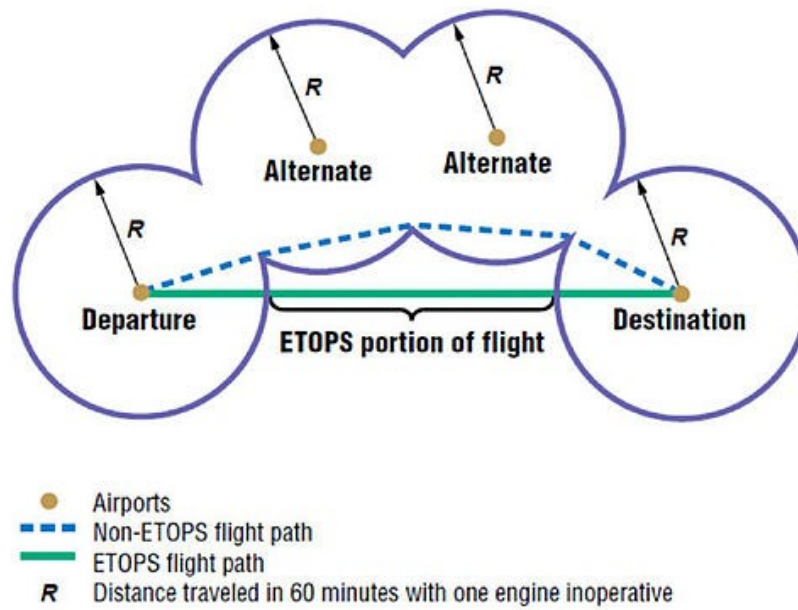


Figura 9 – Estipulação do limite de uma ETOPS

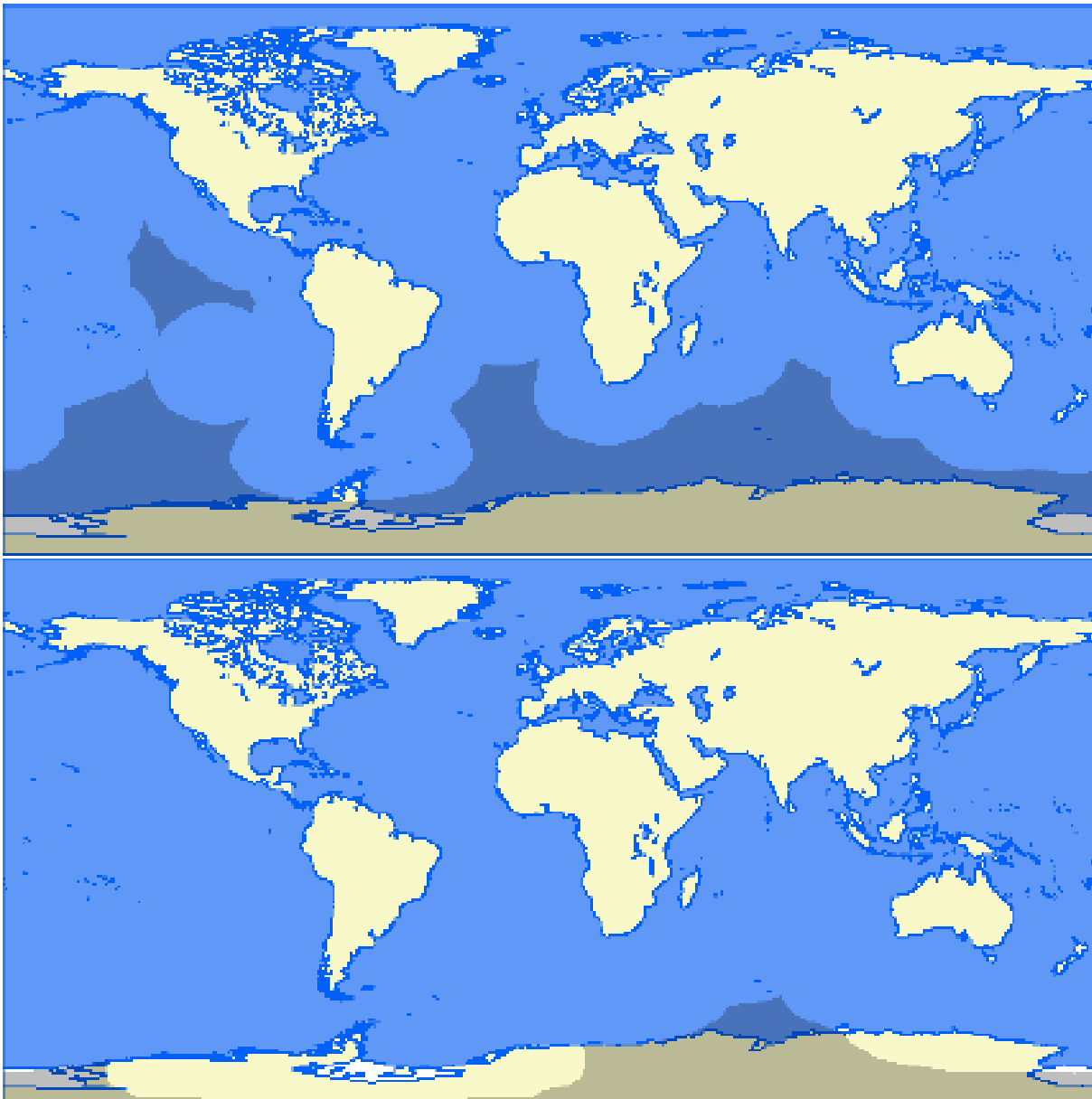


Figura 10 – ETOPS-180 e ETOPS-240, respectivamente

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