



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

JOSÉ STOFFEL FILHO

**TECNOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO AÉREA: UMA ABORDAGEM
SOBRE NAVEGAÇÃO DE ÁREA POR GPS E ADS-B**

PALHOÇA

2020

JOSÉ STOFFEL FILHO

**TECNOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO AÉREA: UMA ABORDAGEM
SOBRE NAVEGAÇÃO DE ÁREA POR GPS E ADS-B**

Monografia apresentada ao Curso de
graduação em Ciências Aeronáuticas, da
Universidade do Sul de Santa Catarina,
como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel.

Orientador: Prof. MSc. Angelo Damigo Tavares

PALHOÇA

2020

JOSÉ STOFFEL FILHO

**TECNOLOGIAS DE NAVEGAÇÃO AÉREA: UMA ABORDAGEM
SOBRE NAVEGAÇÃO DE ÁREA POR GPS E ADS-B**

Esta monografia foi julgada adequada à obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas e aprovada em sua forma final pelo Curso de Ciências Aeronáuticas, da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 05 de junho de 2020

Orientador: Prof. MSc. Angelo Damigo Tavares

Prof. Esp. Antônio Carlos Vieira de Campos

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo geral analisar quais os benefícios trazidos à navegação aérea em decorrência do uso do GPS - *Global Positioning System* e vigilância ADS-B - *Automatic Dependent Surveillance Broadcast*. Caracterizou-se como pesquisa descritiva, pois descreveu os requisitos dos sistemas de navegação de área pelo GPS e a vigilância ADS-B em relação aos usuários dos sistemas em questão; aeronaves, órgãos de controle e satélites, bem como os benefícios trazidos por tais sistemas baseados nas normativas dos procedimentos GPS e ADS-B publicados por órgãos reguladores como ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil e FAA – *Federal Aviation Agency*, artigos científicos já publicados e literatura da fabricante de aeronaves *Airbus Industries*. A utilização do sistema ADS-B em território brasileiro, na terminal Macaé, os procedimentos de contingência durante a perda do sinal do GPS, e também os equipamentos necessários para ingresso em área RNAV – Navegação de Área foram abordados. Ao final da pesquisa, conclui-se que a navegação direta de um ponto a outro, a economia de combustível, redução na emissão de poluentes e o aumento da quantidade e qualidade na troca de informações entre o órgão de controle de espaço aéreo e as aeronaves foram os principais benefícios trazidos pela navegação com auxílio do GPS e o sistema de vigilância ADS-B.

Palavras chave: Navegação por GPS. Vigilância ADS-B. Navegação de Área.

ABSTRACT

This research aimed to analyze the benefits brought by air navigation using GPS – Global Positioning System and ADS-B Surveillance – Automatic Dependent Surveillance Broadcast. It was characterized by descriptive research, as it aims to describe the requirements of the Area Navigation by using GPS and the ADS-B surveillance in relation to the users of the system; aircraft, ATC – Air Traffic Control and satellites, as well as the benefits brought by such systems based on the regulations of GPS and ADS- B procedures published by regulatory agencies as ANAC – National Civil Aviation Agency and FAA – Federal Aviation Agency, scientific articles already published and literature from the aircraft manufacturer Airbus Industries. The use of ADS-B system in the Brazilian territory, at Macaé terminal, the contingency procedures during the loss of GPS signal and also the necessary equipment to enter the RNAV – Area Navigation were presented. At the end of the research, it was concluded that direct navigation from one point to another, fuel saving, reduction of pollutant emissions and the increased quantity and quality in the transmission and reception of information between the ATC and the aircraft were the main benefits brought by navigation using GPS and ADS-B surveillance system.

Key words: GPS Navigation. ADS-B Surveillance. Area Navigation.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|---|
| ABAS | Aircraft Based Augmentation System – Sistema de Aumentação Baseado na Aeronave |
| AIRAC | Aeronautical Information Regulation and Control – Regulamentação e Controle da Informação Aeronáutica |
| ANAC | Agência Nacional de Aviação Civil |
| ADS –B | Automatic Dependent Surveillance Broadcast - Vigilância Dependente Automática por Rádio-Difusão |
| ADF | Automatic Direction Finder – Indicador Automático de Direção |
| ATC | Air Traffic Control – Controle de Tráfego Aéreo |
| ATM | Air Traffic Management – Gerenciamento de Tráfego Aéreo |
| CIRCEA | Circular Normativa de Controle do Espaço Aéreo |
| CDTI | Cockpit Display of Traffic Information – Tela de Exibição de Informação de Tráfego na Cabine |
| CNS | Communication Navigation and Surveillance – Comunicação Navegação e Vigilância |
| DECEA | Departamento de Controle do Espaço Aéreo |
| DME | Distance Measuring Equipment – Equipamento Medidor de Distâncias |
| DOD | Department of Defense – Departamento de Defesa |
| EUA | Estados Unidos das Américas |
| EO | Especificações Operativas |
| FAA | Federal Aviation Agency – Agência Federal de Aviação |
| FDE | Fault Detection and Exclusion – Detecção de Falha e Exclusão |
| FIS-B | Flight Information Broadcast – Informação de Voo por Radiodifusão |
| FCOM | Flight Crew Operating Manual – Manual de Operação da Tripulação de Voo |
| FMGS | Flight Management Guidance System – Sistema de Gerenciamento e Guia de Voo |

| | |
|---------|---|
| GLONASS | Global Navigation Satellite System – Sistema Global de Navegação por Satélite |
| GNSS | Global Navigation Satellite System – Sistema Global de Navegação por Satélite |
| GPS | Global Positioning System – Sistema de Posicionamento Global |
| IAP | Instrument Approach Procedure – Procedimento de Aproximação por Instrumentos |
| ICAO | International Civil Aviation Organization – Organização Internacional da Aviação Civil |
| IFR | Instrument Flight Rules – Regra de Voo por Instrumentos |
| INS | Inertial Navigation System – Sistema de Navegação Inercial |
| JAA | Joint Aviation Authority – Autoridade de Aviação Comum |
| LNAV | Lateral Navigation – Navegação Lateral |
| MCDU | Multipurpose Control and Display Unit – Unidade Multifuncional de Controle e exibição de dados. |
| MHZ | Mega Hertz |
| METAR | Meteorological Aerodrome Report – Reporte Meteorológico de Aeródromo |
| NAS | National Airspace – Espaço Aéreo Nacional |
| NPA | Non Precision Approaches – Procedimentos de Aproximação de Não Precisão |
| NRA | Non Radar Airspace – Espaço Aéreo Não Radar |
| NM | Nautical Miles – Milhas Náuticas |
| NOTAM | Notice to Airman – Informação ao Aeronauta |
| OACI | Organização Internacional da Aviação Civil |
| PBN | Performance Based Navigation - Navegação Baseada em Performance |
| PSR | Primary Surveillance Radar – Radar de Vigilância Primário |
| RAIM | Receiver Autonomous Integrity Monitoring – Sistema de Monitoramento Autônomo de Integridade |
| RBHA | Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica |

| | |
|---------|--|
| RNAV | Area Navigation – Navegação de Área |
| SA | Selective Availability – Disponibilidade Seletiva |
| SARPS | Standards and Recommended Practices – Normas e Métodos Recomendados |
| SID | Standard Instrument Departure – Procedimento de Saída Padrão |
| SIGMET | Significant Meteorological Information – Informação Meteorológica Significante |
| SITRAER | Simpósio de Transporte Aéreo |
| SPI | Special Position Identification – Identificação Especial de Posição |
| SSR | Secondary Surveillance Radar – Radar de Vigilância Secundário |
| STAR | Standard Terminal Arrival Procedure – Procedimento Padrão de Chegada em Área Terminal |
| TAF | Terminal Area Forecast – Previsão em Área Terminal |
| TIS-B | Traffic System Information – Broadcast – Serviço de Informação de Tráfego por Radiodifusão |
| TCAS | Traffic Collision Avoidance System – Sistema de Prevenção de Colisão de Tráfego |
| TMA | Terminal Area – Área Terminal |
| TGL | Temporary Guidance Leaflet – Guia Temporário de Instrução |
| UAT | Universal Access Transceiver - Transceptor Universal de Acesso |
| VNAV | Vertical Navigation – Navegação Vertical |
| VOR | Very High Frequency Omnidirectional Range – Equipamento Multidirecional de Alta Frequência |
| WATRS | West Atlantic Route System – Sistema de Rotas do Atlântico Norte |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Operações PBN e suas respectivas precisões e áreas de atuação | 27 |
|--|----|

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Sistema Giroscópio/Inercial..... | 21 |
| Figura 2 - Painel ADIRU A32F..... | 30 |
| Figura 3 - Rotas de navegação convencional, RNAV e RNP..... | 31 |
| Figura 4 - Recorte de aerovias da região sul do Brasil | 32 |
| Figura 5 - Interface MCDU..... | 34 |
| Figura 6 - <i>Flight Director</i> - Diretor de Voo Aeronave A320..... | 36 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 PROBLEMA DA PESQUISA | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS | 14 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 14 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 14 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA | 14 |
| 1.4 METODOLOGIA..... | 16 |
| 1.4.1 Natureza e tipo da pesquisa | 16 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 ESTRUTURA DO SISTEMA GPS | 18 |
| 2.2 ESTRUTURA DO SISTEMA ADS-B..... | 20 |
| 2.3 VIGILÂNCIA ADS-B NA TERMINAL MACAÉ..... | 23 |
| 3 NAVEGAÇÃO DE ÁREA POR GPS | 25 |
| 3.1 PROCEDIMENTOS DE CONTIGÊNCIA EM CASO DE PERDA DO SINAL GPS EM UMA NAVEGAÇÃO DE ÁREA | 29 |
| 3.2 EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS PARA INGRESSO EM ÁREA RNAV | 32 |
| 3.2.1 Rnav 10..... | 33 |
| 3.2.2 Rnav 5..... | 34 |
| 3.2.3 Rnav 4..... | 35 |
| 3.2.4 Rnav 1 e 2 | 35 |
| 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 38 |
| REFERÊNCIAS..... | 40 |

1 INTRODUÇÃO

Depois de superado o problema de fazer voar um objeto mais pesado que o ar, movido por forças próprias, começava o novo problema da aviação. Como navegar de ponto A para ponto B, fazendo com que os ganhos com praticidade e economia de tempo viessem a surtir o seu esperado efeito?

A navegação aérea muito se apropriou de instrumentos da navegação marítima. Como o uso de elementos de observação das constelações e de instrumentos de navegação como o sextante. No entanto, conforme as máquinas voadoras foram se aperfeiçoando no quesito autonomia e segurança, também os métodos de navegação aérea necessitaram atualização. Começava assim o uso de estações baseadas em terra, como o ADF - *Automatic Direction Finder*, o VOR- *Very High Frequency Omnidirectional Range* e o DME- *Distance Measuring Equipment*, para que as aeronaves pudessem navegar orientando-se por sinais de rádio emitidos por uma estação em terra.

Dessa feita, surge ao mesmo tempo uma solução e um problema para a navegação aérea. A solução indicava que os sinais de rádio eram muito mais precisos comparados à tecnologia que a navegação aérea possuía a época. Por outro lado, o problema: precisar-se-ia de muitas estações em terra para que a navegação aérea pudesse usufruir das ondas do rádio para navegar.

Como consequência desta dificuldade começaram as pesquisas e desenvolvimento de tecnologias, para que a aeronave não necessitasse de auxílios em terra para sua navegação. Surge então, o GPS – *Global Positioning System*, um conjunto de 24 satélites lançados na órbita terrestre que enviam sinais para os receptores, neste caso, o aparelho de GPS, que os interpreta e determina sua posição em relação ao globo terrestre, bem como, sua altitude e velocidade. Esse diálogo entre os satélites e os aparelhos de GPS passou a ser fundamental para a navegação aérea, pois permite uma aeronave deslocar-se de ponto A para ponto B de maneira linear, sem a necessidade do sobrevoo dos auxílios em terra. Assim, a navegação aérea evoluiu de equipamentos utilizados na navegação marítima, para o uso de auxílios rádios, para, por fim, usar satélites na órbita terrestre como meio de navegação. O uso do GPS possibilitou que as distâncias fossem encurtadas por meio de um novo procedimento, denominado navegação de área. Uma aeronave poderia seguir de um ponto para o outro de maneira

direta e reta, fazendo valer a máxima geodésica de que a menor distância entre dois pontos é uma reta.

Para aviação, a navegação por GPS, trouxe inúmeros ganhos. Dentre eles destacam-se os dois mais importantes: economia de tempo e uso de combustível. Começava com isso, o desenvolvimento, de fato, da aviação comercial, haja vista que o combustível, até hoje, é um dos principais custos de uma empresa aérea.

Entretanto, na aviação pode-se dizer que o processo evolutivo é muito dinâmico, a inovação ocorre quase na mesma proporção da velocidade que os aviões conseguem empregar. A tecnologia do GPS começou a ser melhorada e estudos apontavam que os satélites e as aeronaves poderiam trocar muito mais informações do que apenas altitude, velocidade e localização. O enlace de dados passou a ser muito maior, oferecendo informações como o tipo de aeronave, informações inseridas no sistema de computadores do avião por parte dos pilotos, informações de TCAS¹ - *Traffic Collision Avoidance System*, entre outros.

Desta forma nasce o ADS-B-*Automatic Dependent Surveillance Broadcast*, que é um sistema de transmissão de dados da aeronave para o controle de tráfego aéreo por meio do enlace de dados entre as aeronaves, satélites e ATC- *Air Traffic Control*. (MACHADO, 2017). Com esse sistema, a navegação aérea e a vigilância das aeronaves vêm sendo significativamente melhorados. Isto porque a quantidade de dados e informações trocadas entre as aeronaves e os órgãos de controle de tráfego aéreo aumentou, possibilitando assim, uma otimização do uso do espaço aéreo.

¹ TCAS – Sistema Anti-Colisão de Tráfego. Sistema utilizado na aviação para monitoramento e prevenção de colisão entre as aeronaves.

1.1 PROBLEMA DA PESQUISA

Quais os benefícios trazidos à navegação aérea em decorrência da evolução da navegação baseada no sistema de GPS e vigilância ADS-B?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar quais os benefícios trazidos à navegação aérea em decorrência do uso do GPS e vigilância ADS-B.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Conhecer a funcionalidade do sistema de GPS e ADS-B;
- b) Compreender a navegação de área utilizando o sistema de GPS e o sistema de vigilância ADS-B;
- c) Analisar os procedimentos de contingência em caso de perda de sinal de GPS durante uma navegação de área;
- d) Verificar quais equipamentos são necessários para a implementação do sistema GPS e ADS-B nas aeronaves;

1.3 JUSTIFICATIVA

O autor trabalha há mais de quatorze anos na aviação e, em um curto espaço de tempo, observou-se a evolução dos sistemas de navegação e de vigilância de aeronaves. Ainda no começo da carreira teve a oportunidade de dividir o *cockpit* com pilotos que utilizavam equipamentos de rádio, como o ADF e o VOR, como base de navegação.

No começo dos anos 2000, a navegação evoluiu com o emprego do GPS como fonte de navegação. Já neste momento, a economia de tempo e combustível era notória como benefícios trazidos por esse equipamento.

Além do mais, os procedimentos de aproximação baseados apenas em equipamentos de rádio incorporaram o uso do sistema GPS, para que a aproximação ficasse mais direta, e que os mínimos meteorológicos de procedimentos de aproximação fossem reduzidos com o auxílio da precisão fornecida pelo uso do GPS. Presenciava-se uma verdadeira revolução no que diz respeito ao conceito de navegação aérea.

Hoje, com o avanço diário das tecnologias de navegação, novas ferramentas surgem para auxiliar a navegação e a troca de informações, praticamente em tempo real, entre as aeronaves, órgãos de controle e satélites.

Como no começo de 2000, há uma nova revolução no que diz respeito ao uso de satélites para navegação. Os mesmos não estão sendo utilizados apenas para o georeferenciamento, mas, muito mais do que isso, são ferramentas fundamentais na transmissão de inúmeros dados e informações do voo. Estamos diante do sistema ADS-B.

A partir de janeiro do corrente ano, o ADS-B tornou-se obrigatório no espaço aéreo americano, onde o tráfego aéreo é mais intenso existente. Assim, este trabalho versa sobre a navegação de área por meio do uso do GPS e a difusão do sistema de vigilância ADS-B, bem com seus benefícios trazidos à navegação aérea quando da implementação da operação. Apesar de não ser obrigatório, por hora, em nosso espaço aéreo, exceto às aeronaves de asas rotativas da Bacia de Macaé-RJ, Rio de Janeiro, certamente, tal ferramenta tornar-se-á obrigatória para os exploradores da aviação brasileira. Com isso, empresas aéreas, pilotos, controladores de voo - público alvo desta pesquisa - num futuro breve e até mesmo no presente, empresas e pilotos ao voarem para os Estados Unidos da América e na área da Bacia de Macaé colherão os benefícios trazidos pela implantação do sistema de vigilância ADS-B. Assim, tendo por fonte documentos do FAA - *Federal Aviation Agency*, *Airbus Industries*, ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil e pesquisas já desenvolvidas sobre esses temas, pretende-se demonstrar a evolução dos mecanismos de navegação aérea e vigilância, bem como os benefícios proporcionados aviação.

1.4 METODOLOGIA

1.4.1 Natureza e Tipo da Pesquisa

Esta pesquisa descritiva visou apresentar os requisitos dos sistemas de navegação de área pelo GPS e a vigilância ADS-B proporcionado aos usuários dos sistemas em questão, aeronaves, órgãos de controle e satélites, bem como os benefícios trazidos por tais sistemas.

Por meio de uma pesquisa documental de órgãos reguladores, tanto no Brasil, como nos EUA, ANAC e FAA respectivamente, exploraram-se documentos que abordam os aspectos legais e como essas tecnologias são aplicadas em seus respectivos espaços aéreos. Também compuseram fonte de pesquisa manual de fabricantes de aeronaves, como a *Airbus Industries*, no quais foram descritos os requisitos necessários para que as aeronaves pudessem usufruir da navegação por GPS e do sistema de vigilância ADS-B. Além desses documentos, pesquisas científicas já abordadas sobre o tema auxiliaram na construção desse projeto.

A abordagem do trabalho se deu de forma qualitativa, pois se embasou em documentos referentes à navegação de área e ADS-B, como por exemplo, a IAC – Instrução de Aviação Civil nº 3512 que é norma que regula a utilização do GPS e a IS – Instrução Suplementar nº 21-013 que versa sobre os requisitos para obtenção de aprovação para instalação de equipamento GPS em aeronaves, ambos emitidos pela ANAC. Consultou-se também, o FCOM – *Flight Crew Operating Manual* da aeronave *Airbus A320*, onde estão descritos os equipamentos necessários para que esta aeronave utilize o equipamento de GPS em sua navegação. Além dessas publicações estudaram-se documentos emitidos pela *Airbus Industries* como *Getting to Grips* e *Safety First* a cerca da navegação por GPS e vigilância ADS-B numa visão geral voltada as aeronaves da família *Airbus*.

Em relação ao ADS-B o documento base para a exploração do tema foi a CIRCEA – Circular Normativa de Controle do Espaço Aéreo de nº 121-7, que trata sobre a inspeção em voo para a vigilância automática por radiodifusão ADS-B e a IAC nº 22-2011, a qual trata sobre o serviço de vigilância dependente ADS-B na Terminal Macaé-RJ.

A estrutura do trabalho foi dividida da seguinte forma: no primeiro capítulo abordou-se a composição dos sistemas GPS e ADS-B. O segundo capítulo enfatizou

a navegação de área utilizando o sistema GPS nos princípios de precisão, integridade, continuidade, disponibilidade e funcionalidade. O terceiro capítulo estudou procedimentos de contingência em caso de perda do sinal GPS. Já no quarto capítulo demonstraram-se os equipamentos necessários às aeronaves que utilizam o GPS e o sistema de vigilância ADS-B. Na parte conclusiva analisaram-se os benefícios trazidos por ambos os sistemas à aviação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTRUTURA DO SISTEMA GPS

O sistema GPS tal qual conhecemos hoje foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa Americano - DOD, a princípio como uma ferramenta de defesa militar, sendo colocado em funcionamento em 1984, durante a Guerra Fria. Seu uso civil, nos EUA, só foi liberado pelo DOD em dezembro de 1993. No Brasil, entrou em operação em 2001 por meio de uma portaria do antigo DAC² – Departamento de Aviação Civil, de número 674/STE.

A constelação satelital atualmente disponível para o uso operacional no Brasil é o *Global Positioning System* (GPS), provida pelos Estados Unidos da América; entretanto outros sistemas estão em funcionamento em diferentes partes do mundo, como na Rússia o GLONASS – *Global Navigation Satellite System*, e na Europa o Galileu.

O GPS é constituído por três elementos funcionais distintos: espacial, controle e usuário. Ele utiliza medidas de distância a partir dos satélites para determinar uma posição em qualquer local do globo terrestre.

O elemento espacial consiste de 24 satélites Navstar³. Esse grupo de satélites é chamado de constelação. Os satélites estão em 6 planos orbitais (4 em cada plano) a cerca de 11.000 milhas acima da terra. Pelo menos 4 satélites estão visíveis a qualquer momento. A constelação GPS emite um sinal de tempo codificado pseudo-aleatório e uma mensagem com dados que o equipamento embarcado processa para obter a posição do satélite e dados de situação. Pelo conhecimento preciso da localização de cada satélite e o cruzamento acurado da informação de tempo com relógios atômicos dos satélites, o receptor de bordo pode medir com precisão o tempo que cada sinal leva para chegar ao receptor e, dessa maneira, determinar a posição da aeronave.

O elemento controle consiste de uma rede de estações de acompanhamento e controle do GPS que assegura a precisão das posições dos satélites e seus relógios.

O elemento usuário consiste das antenas e dos receptores-processadores a bordo de aeronaves que proveem dados de posicionamento, velocidade e tempo precisos para o usuário. (BRASIL, 2001, p. 3)

Como inicialmente o GPS teve sua gênese com finalidade militar, foi de interesse do Estado desenvolvedor do sistema, neste caso os EUA, proteger sua utilização de forma mais precisa apenas pelo Estado fabricante. Afim de disponibilizar o sistema para uso civil foi implantado na constelação satelital um erro proposital de

² Autoridade aeronáutica brasileira ligada ao Ministério da Defesa que deixou de existir em 2006. Passou então a ser a ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil, subordinada ao Ministério da Infraestrutura.

³ *Navigation Satellite with Time and Ranging* – Navegação Satelital com Tempo e Alcance.

precisão, no procedimento conhecido por Disponibilidade Seletiva – *Selective Availability* – SA. Desta forma, o Departamento de Defesa Americano nega aos usuários civis, ou até mesmo potenciais inimigos militares, a precisão total do sistema.

Entretanto, “Quando a SA está ativada, o DOD garante que a precisão da posição horizontal não será degradada acima de 100 metros (328 pés) 95% do tempo e de 300 metros (984 pés) 99,9 % do tempo” (BRASIL, 2001, p. 6). Desta forma, fica resguarda a operacionalidade e precisão para uso civil e a proteção da tecnologia com finalidades militares.

Como se observa a precisão é uma das mais importantes características que o sistema de GPS possui. No entanto, outros quesitos são de extrema importância para que este sistema seja confiável, são eles: continuidade, disponibilidade, integridade, e por fim, funcionalidade. Essas cinco características compõem os pilares da navegação por GPS.

Precisão: É o grau de conformidade entre a informação sobre a posição e hora que proporciona o sistema de navegação e a posição e hora verdadeiras;

Integridade: É a garantia de que todas as funções do sistema de navegação estão dentro dos limites de desempenho operacional. É a capacidade do sistema de navegação aérea de proporcionar aos usuários avisos oportunos nos casos em que ele não deva ser utilizado;

Disponibilidade: É o percentual de tempo em que são utilizáveis as informações providas por um sistema de navegação. É uma identificação da capacidade desse sistema em proporcionar informações utilizáveis dentro de uma determinada zona de cobertura, bem como do percentual de tempo em que se transmitem sinais de navegação, a partir das fontes externas. A disponibilidade é função das características físicas do entorno e da capacidade técnica das instalações dos transmissores;

Continuidade: É a capacidade do sistema em proporcionar informações válidas de navegação para a operação pretendida, sem a ocorrência de interrupções não programadas;

Funcionalidade: É o conjunto de funções específicas necessárias para cada tipo de operação PBN⁴; (BRASIL, 2016 p. 3).

Além de cumprir os requisitos de navegação baseada em performance - PBN acima descritos, uma série de procedimentos para que o GPS seja tomado como fonte primária de navegação devem ser cumpridos. Primeiramente o piloto deve certificar-se que a aeronave encontra-se homologada para tal operação com os equipamentos devidamente instalados e em perfeito estado de operação. Tal informação pode ser obtida no AFM – *Air Flight Manual*⁵, e também na EO⁶ – Especificações Operativas.

⁴ PBN – Conceito que estabelece os requisitos do sistema RNAV da aeronave. É uma navegação baseada em desempenho do sistema de navegação de área.

⁵ Manual de operação de voo.

Ainda seguindo as orientações do AFM, o piloto deve verificar se os receptores do GPS encontram-se em funcionamento.

Antes do voo, deve ser procedida a leitura de NOTAM⁷ – *Notice to Airman*, documento que pode informar uma indisponibilidade temporária de alguns satélites, inviabilizando assim, o uso do GPS como fonte de navegação primária⁸. Além do mais, o piloto deve consultar na sua documentação de voo a integridade do sistema GPS através do *RAIM PREDICTION – Receiver Autonomous Integrity Monitoring*⁹, isso para aeronaves operando pelo RBHA nº121 (Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica). Com todos esses pontos checados, a operação com uso do GPS torna-se permitida e viável para o voo em questão.

2.2 ESTRUTURA DO SISTEMA ADS-B

O termo ADS-B vem do acrônimo Inglês: *Automatic Dependent Surveillance Broadcast* que pode ser traduzido para o português como: Sistema de Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão.

É um sistema de vigilância, ou seja, troca de informações entre o órgão ATC e o usuário, que neste caso podem ser tanto aeronaves quanto veículos em solo que estejam equipados com tal dispositivo. A transmissão é feita por meio de radiodifusão, a saber, por uma frequência de 1090 MHz - *Mega Hertz* e outra de 978 MHz.

Trata-se de um processo automático no qual não há a necessidade de intervenção dos pilotos ou usuários do sistema para que as mensagens sejam transmitidas. É um sistema dependente, pois se caracteriza pelo fato de depender apenas do sistema embarcado e da estação receptora em solo para a transmissão e recepção dos dados.

A garantia do tráfego de dados é fornecida pelo próprio sistema isto por que: “cada mensagem de posição ADS-B inclui também a indicação da qualidade dos dados,

⁶ Documento emitido pela ANAC que contem as autorizações, limitações e procedimentos segundo cada operação deve ser conduzida pela empresa detentora do certificado de operação.

⁷ Documento emitido pela autoridade aeronáutica competente de cada país que informa antecipadamente aos usuários do sistema aéreo informações que sejam de importância para a navegação aérea e segurança de voo.

⁸ A aeronave pode dispor de outros meios de navegação aérea como sistema inercial ou com auxílio de sinais de rádio como VOR, DME ou ADF.

⁹ Sistema de monitoramento autônomo de integridade. Tecnologia que monitora a integridade dos sinais emitidos pela constelação satelital, bem como a recepção dos mesmos através dos dispositivos de GPS.

que permite aos usuários determinar se os dados são adequados para suportar a função pretendia”. (DECEA, 2017, p. 14).

Assim como no sistema de GPS, o ADS-B possui sua estruturação dividida em três partes: aviônicos, infraestrutura de solo e procedimentos de operação, como descrevem Scarso e Santos (2018, p. 89):

Três componentes são necessários estarem instalados na aeronave: uma unidade de navegação, um transceptor ADS-B e uma antena para transmissão e recepção de informações.

A infraestrutura de solo engloba antenas em solo para receber os sinais ADS-B emitidos pela aeronave, instalações de controle de tráfego aéreo para poder controlar as aeronaves em voo e um canal de comunicação privado entre as antenas e as instalações de controle de tráfego aéreo, para que as informações recebidas pela antena possam ser tramitadas até a tela de vigilância do controlador.

Os procedimentos de operação exigirão treinamento e capacitação de pessoal para a prestação dos serviços ATS baseados no ADS-B.

Os aviônicos¹⁰ necessitam de uma unidade de navegação que pode ser tanto o GPS quanto o Sistema Inercial que, por meio de instrumentos como acelerômetros e giroscópios, é capaz de referenciar o norte magnético da terra, e assim ser fonte de navegação. Nesses sistemas as informações relativas à posição da aeronave são repassadas ao transceptor ADS-B embarcado.

Figura 1: Sistema Giroscópio/Inercial



Fonte: PI FLIGHT, 2018.

¹⁰ Todo sistema de eletrônicos embarcado na aeronave. O termo nasceu da abreviação do inglês *Aviation Eletronics*. Fazem parte dos aviônicos, telas de navegação e de voo, sistemas de navegação e comunicação.

Além de dados do sistema de navegação, este transceptor capta informações provenientes do sistema barométrico para determinar a altitude da aeronave. O transceptor é responsável pela comunicação entre a aeronave e a estação em solo, e também, possui a função de comunicação entre as aeronaves equipadas com o mesmo dispositivo, possibilitando a troca de informações entre elas e evitando possíveis colisões em voo. Os aviônicos ADS-B apresentam duas configurações distintas. A primeira delas é o ADS-B *out* e a segunda ADS-B *in*.

ADS-B *out* – menos custoso e simples, difunde dados de posicionamento e identificação para outras aeronaves em linha de visada e para o ATC via estações de retransmissão. Não proporciona capacidade de vigilância ar-ar para o piloto.

ADS-B *in* – mais completo e caro, permite a visualização de dados do tráfego aéreo, informação aeronáutica e meteorológica. Proporciona capacidade de vigilância ar-ar para o piloto. (UNISUL, 2019, p. 69).

Graças a um UAT – *Universal Access Transceiver*, uma tecnologia de transmissão contínua de dados, dois serviços adicionais estão disponíveis para a função ADS-B *out*. O primeiro deles é conhecido como TIS-B – *Traffic Information System – Broadcast* (Serviço de Informação de Tráfego por Radiodifusão). Ao transmitir na frequência de 978 MHz, provê dados de informação de tráfego e requer adicionalmente embarcada na aeronave um equipamento conhecido como CDTI – *Cockpit Display of Traffic Information*, para que a visualização de outros tráfegos seja disponível para o piloto.

Já o segundo pacote de dados que podem ser transmitidos pelo ADS-B *out* é o FIS-B - *Flight Information System Broadcast* (Serviço de Informação de Voo por Radiodifusão), o qual provê indicações meteorológicas como SIGMET¹¹- *Significant Meteorological Information*, (Informação Meteorológica Significante), TAF – *Terminal Area Forecast* (Previsão em Área Terminal), METAR - *Meteorological Aerodrome Report*, (Reporte Meteorológico de Aeródromo), e a própria imagem de precipitações e nuvens, como se fosse uma imagem de radar meteorológico convencional.

Assim, além de fornecer informações básicas como identificação, posição e altitude, o sistema ADS-B, através do transceptor, aumenta a quantidade de informações trocadas entre a aeronave e o órgão de vigilância, como velocidade, razão de subida ou descida, rumo, aeródromo de decolagem e destino. Atualmente, conforme Scarso e Santos (2018, p. 96): “O ADS-B consegue transmitir 49 informações simultaneamente,

¹¹ Mensagem relativa a ocorrência ou previsão de fenômenos como trovoadas, formação de gelo e cinzas vulcânicas.

com uma taxa de atualização de uma vez por segundo”. Com isso, a troca de informações entre órgão ATC e aeronaves fica muito mais rápida e eficiente, isto porque, muitas informações que necessitavam ser transmitidas oralmente por frequência de rádio, passam a serem fornecidas digitalmente pelo transceptor do ADS-B.

Além do aumento da quantidade de informações trocadas entre os órgãos de controle de tráfego aéreo, o sistema ADS-B traz consigo outro benefício para o sistema de vigilância. Sua cobertura é muito eficaz em áreas remotas e regiões montanhosas. Conforme (BRASIL, 2017, p. 14):

ADS-B é eficaz em áreas remotas ou terrenos montanhosos onde não há nenhuma cobertura radar, ou onde a cobertura radar é limitada. Também, o ADS-B ajuda a vigilância na superfície do aeroporto, onde pode ser igualmente usado para monitorar o tráfego nas pistas e nas pistas de pouso/decolagem.

Esta eficiência dá-se pelo fato que o sistema ADS-B não depende da linha visada¹² como os sistemas de vigilância dotados de radares de vigilância primária e secundários. Ele depende única e exclusivamente da comunicação dos transceptores nas aeronaves e ou veículos, e a recepção dos dados pelas antenas em solo.

Nos EUA, a tecnologia do ADS-B foi regulamentada no ano de 2010, tornando-se obrigatória no início do ano de 2020. Assim, todas as aeronaves operando no NAS - *National Air Space* americano devem estar equipadas com dispositivo ADS-B *out*. Já no espaço aéreo brasileiro esta tecnologia não é obrigatória, exceto às aeronaves de asas rotativas que voam no espaço aéreo da TMA – *Terminal Area*, de Macaé.

2.3 VIGILÂNCIA ADS-B NA TMA MACAÉ

No ano de 2017 a área da TMA de Macaé, no Rio de Janeiro, foi dotada de todos os equipamentos necessários para a operação ADS-B. Porém, apenas a partir do dia 08 de novembro de 2018 tornou-se obrigatório o equipamento ADS-B para operação nesta terminal, excetuadas as aeronaves de Estado não dotadas deste sistema. Todos estes equipamentos foram instalados em terra e em plataformas de petróleo, de modo que, a aérea desta terminal esteja coberta pelo serviço ADS-B.

¹² Característica de transmissão e recepção dos sinais de rádio, típica das radiofrequências empregadas comumente nas telecomunicações aeronáuticas e nos radares de vigilância de tráfego aéreo. Significa que a transmissão ou recepção dá em linha reta e não consegue ultrapassar eventuais obstáculos, tal como ocorre com a luz ou a visão humana. Portanto, edifícios, morros ou a própria curvatura da terra podem impor limites de alcance ou até mesmo impedir a comunicação ou detecção por meio de radar. Disponível em: www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr4060.htm. Acesso em: 20 de fev. 2020.

Conforme menciona o DECEA (BRASIL, 2017, p. 2):

A ADS-B *out* será aplicada no espaço aéreo sobre a área oceânica da TMA MACAÉ para proporcionar a vigilância ATS nas baixas altitudes, volume relativo ao espaço aéreo que fica fora do cone de cobertura do radar PSR/SSR¹³, instalado no aeródromo de Macaé.

Com a implantação de tal serviço na TMA Macaé, o controle de tráfego aéreo será capaz de prover uma separação de 5NM - milhas náuticas para as aeronaves voando a baixa altitude, gerando uma otimização no uso deste espaço aéreo.

Para que as aeronaves possam usufruir dos benefícios da vigilância ADS-B, a normativa do DECEA estabelece que:

Para suportar a aplicação do ADS-B NRA¹⁴, o sistema ADS-B de bordo deve em conformidade com o documento RTCA/DO-303 “*Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for the ADS-B Non-Radar-Airspace (NRA) Application*”:

- a) Identificação da aeronave;
- b) Identificação de posição especial (SPI – *Special Position Identification*);
- c) Indicador de emergência;
- d) Altitude barométrica;
- e) Posição da aeronave – Latitude e Longitude;
- f) Status de emergência; e
- g) Indicador de qualidade.

(BRASIL, 2017, p. 3)

A certificação das aeronaves e operadores fica a cargo da ANAC, que deverá ser obtida em conformidade com as normas e procedimentos vigentes na legislação, a saber, a CIRCEA – Circular Normativa de Controle do Espaço Aéreo nº121-7 que versa sobre a Inspeção em Voo para Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (ADS-B).

¹³ PSR – Primary Surveillance Radar. SSR – Secondary Surveillance Radar.

¹⁴ NRA – *Non Radar Airspace, Espaço Aéreo Não Radar*.

3 NAVEGAÇÃO DE ÁREA POR GPS

O conceito de navegação de área está associado ao uso do GPS como sistema de navegação. Entretanto, não se pode limitar a navegação de área exclusivamente ao uso do GPS; outros sistemas como o INS – *Inertial Navigation System* permitem que a aeronave seja capaz de navegar ponto a ponto sem o uso de auxílios terrestres como estações de rádio, auxílios VOR, DME ou NDB. Porém, como o sistema GPS é o mais moderno e mais utilizado, a navegação de área ficou intimamente ligada ao uso do equipamento GPS.

Conforme definição da ICAO, a Navegação de Área é:

Método de navegação que permite a operação de aeronaves em qualquer trajetória de voo desejada dentro da cobertura de auxílios à navegação quer baseados no solo ou no espaço, ou conforme a capacidade de equipamentos de navegação independente de auxílios externos, ou ainda, de uma combinação de ambos. (ICAO, 2008, pg. 26).

O sistema de RNAV¹⁵ pode ser utilizado em ambos planos de navegação, tanto na navegação lateral, como também, no plano vertical, denominada como VNAV – *Vertical Navigation* e amplamente utilizado nos procedimentos de aproximação por GPS. Entretanto, neste trabalho será abordada apenas a funcionabilidade lateral do sistema que permite a navegação ponto a ponto de uma aeronave. Por sua vez, esta é conhecida como LNAV – *Lateral Navigation*.

A navegação de área teve seu uso inicialmente em áreas oceânicas, principalmente na ligação dos Estados Unidos da América ao continente europeu. Após a evolução do sistema e o aumento de sua confiabilidade, passou a ser utilizado em rotas domésticas de alta densidade. A partir daí, foi colocado em uso para todas as fases do voo, SID – *Standard Instrument Departure*, STAR – *Standard Terminal Arrival Procedure*, IAP – *Instrument Approach Procedure* e NPA – *Non Precision Approaches*.

Assim, o método anterior de navegação apoiado por estações de rádio em solo deixou de ser fonte primária de orientação, e se tornou um sistema de apoio ao deslocamento das aeronaves. A partir desse momento não foi mais necessário que a trajetória da navegação efetuasse o sobrevoo de determinados auxílios em solo, uma vez que a aeronave operaria em qualquer trajetória, executando uma navegação em linha reta. Com isso, o tempo de voo diminuiu, houve uma redução do consumo de

¹⁵ Acrônimo da língua inglesa utilizado para a Navegação de Área, comumente utilizado na aviação.

combustível, o espaço aéreo se otimizou e, por consequência, possibilitou-se uma maior oferta de voos.

O sistema GPS atua na maioria das vezes em conjunto com um sistema de gerenciamento de voo, conhecido como FMS – *Flight Management System*¹⁶. Esse sistema possui a função de interlocução entre os dados inseridos pelo piloto, a exemplo de uma navegação, e a resposta da aeronave ao piloto em função aos dados inseridos com base no automatismo particular de cada aeronave.

O sistema de gerenciamento de voo possibilita acesso à acuracidade da navegação de área comparando dois dados, o EPE – *Estimated Position Error*¹⁷ - (Erro Estimado de Posição) e o RNP – *Required Navigation Performance*¹⁸ - (Performance Requerida para Navegação). Assim, quando o Erro Estimado de Posição - EPE for maior do que Requerido para Navegação - RNP, tem-se uma baixa acuracidade. Em contrapartida, quando o EPE é menor que o RNP, tem-se uma alta acuracidade. Com esses dados do sistema de gerenciamento de voo, o piloto saberá se o sistema de navegação de área poderá ser utilizado, caso de alta acuracidade, ou se o piloto terá que reverter sua navegação para o conceito convencional, com o auxílio de equipamentos rádio como NDB, VOR ou DME, baixa acuracidade.

Como visto anteriormente, a navegação de área passou a ser adotada gradativamente em todas as fases do voo. No entanto, a acuracidade requerida é diferente em virtude do adensamento de tráfego de cada área. Assim, em uma área de alta densidade a exemplo de uma TMA, os requisitos de precisão serão maiores do que em uma área de baixa densidade de tráfego, como uma região oceânica. A tabela abaixo descreve os requisitos de cada fase do voo:

¹⁶ Sistema de Gerenciamento de Voo.

¹⁷ Erro Estimado de Posição.

¹⁸ Performance de Navegação Requerida.

Tabela 1 - Operações PBN e suas respectivas precisões e áreas de atuação:

| Designação da Operação | Precisão Lateral da Navegação | Área de Aplicação |
|------------------------|-------------------------------|---|
| RNAV 10 (RNP 10) | 10 NM | Em Rota – Oceânica e/ou Remota |
| RNAV 5 | 5NM | Em Rota – Continental |
| RNAV 1 e 2 | 1 e 2NM | Em Rota – Continental/Área Terminal |
| RNP 4 | 4NM | Em Rota – Oceânica / Remota |
| RNP 1 | 1NM | Área Terminal |
| RNP 2 | 2NM | Em Rota – Oceânica / Remota / Continental |
| RNP APCH | 0.3NM | Aproximação |
| RNP AR APCH | 0.1NM | |
| APV/ BARO-VNAV | - | |

Fonte: (BRASIL, 2017, p.6)

Nota: Os valores de precisão lateral de navegação estão expressos em milhas náuticas mantidas por, pelos menos 95% do tempo de voo, a partir do centro da trajetória desejada.

Além do requisito de precisão, a disponibilidade e funcionalidade do sistema são de igual grandeza e importância para que a navegação de área possa ser utilizada e todos os benefícios trazidos por esta sejam aproveitados no voo.

O dispositivo utilizado para a verificação destes dois pilares da navegação de área é *RAIM PREDICTION*¹⁹, conforme (BRASIL, 2017, p.17):

- I - essencialmente, as constelações de satélites para o provimento de informação de posicionamento global não foram desenvolvidas de forma a satisfazer com os estritos requisitos da navegação IFR²⁰. Dessa maneira, os sistemas aviônicos baseados em GNSS que são utilizados em operações IFR devem aprimorar os sinais recebidos dos satélites de modo a garantir, entre outras coisas, a sua integridade. Os sistemas ABAS (*Aircraft-Based Augmentation System*) melhoram e/ou integram a informação proveniente da constelação de satélites com outras informações disponíveis a bordo da aeronave de forma a aprimorar o desempenho do sistema GNSS. A técnica ABAS mais comumente empregada é denominada RAIM (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring*), outro exemplo da técnica ABAS que pode ser citado envolve a integração do GNSS com outros sensores de navegação embarcados, tais como os sistemas de navegação inerciais;
- II - a funcionalidade RAIM é uma técnica de monitoramento da integridade do sinal de posicionamento proveniente das constelações de satélites GNSS. A determinação da integridade do sinal de posicionamento é

¹⁹ Acrônimo inglês para Receiver Autonomous Integrity Monitoring - Sistema que verifica a operacionalidade e disponibilidade da constelação satelital para cada ponto da Navegação de Área.

²⁰ IFR – *Instrument Flight Rules*, Regra de voo por instrumentos.

obtida por meio de cheques de consistência das informações provenientes de medições redundantes dos sinais dos satélites;

III - existem dois eventos distintos que podem resultar em um alerta de RAIM. O primeiro ocorre quando não é possível obter o sinal de um número suficiente de satélites em geometria adequada. Nestas condições, é possível que a informação de posição continue sendo estimada com precisão, contudo, a função de verificação de integridade do receptor (isto é, a habilidade em detectar um satélite falhado) é perdida. O segundo evento ocorre quando o receptor detecta um satélite falhado sendo que, nestes casos, um alerta resulta em perda de capacidade de navegação GNSS.

IV - para operações baseadas em áreas oceânicas ou áreas continentais remotas, as aeronaves aprovadas para o uso do GNSS como meio primário de navegação devem não só possuir a capacidade de detectar um satélite defeituoso (como por exemplo, por meio da função RAIM) como também deve possuir a capacidade de determinar qual satélite defeituoso e excluir as informações por ele fornecidas do computador para a determinação da solução de posicionamento. Ou seja, os receptores GNSS das referidas aeronaves devem ser capazes de realizar o *Fault Detection and Exclusion* (FDE).

Não obstante a confirmação da precisão, disponibilidade, integridade e continuidade do sistema, é de suma importância que o operador aéreo que se propõe a uma navegação GNSS tenha a base de dados do seu FMS atualizada, visto que estes dados afetarão diretamente a funcionalidade e integridade do sistema.

A informação armazenada na base de dados de navegação define a orientação lateral e longitudinal da aeronave para as operações PBN. As atualizações das bases de dados de navegação são realizadas a cada 28 dias, segundo o ciclo AIRAC²¹. Os dados de navegação utilizados em cada atualização são críticos para a integridade das rotas e procedimentos PBN que serão executados. (BRASIL, 2017, p. 21).

Abordados os principais conceitos de navegação de área, o uso do GPS como instrumento de navegação mais utilizado, além disso, a forma como a aeronave e o operador aéreo conseguem verificar os principais requisitos de uma navegação de área e os pilares do RNAV; (precisão, disponibilidade, integridade, continuidade e funcionalidade), estudar-se-á a continuidade da navegação após verificada a degradação do sistema.

²¹ AIRAC - *Aeronautical Information Regulation and Control*, Regulamentação e Controle da Informação Aeronáutica. Calendário internacional e permanente, estabelecido pela ICAO, que fixa as datas para divulgação antecipada de dados sobre situações ou mudanças relacionadas com aeroportos e a infraestrutura de navegação aérea ou sobre novos procedimentos, tais como o emprego do GPS. O calendário é definido por ciclo de 28 dias, instituídos com a finalidade de divulgar com suficiente antecedência a nova informação. Disponível em: <https://www.decea.gov.br/sirius/index.php/2011/06/14/airac-regulamentacao-e-controle-de-informacao-aeronautica/>. Acesso em: 29 de abr. 2020.

3.1 PROCEDIMENTOS DE CONTIGÊNCIA EM CASO DE PERDA DO SINAL GPS EM UMA NAVEGAÇÃO DE ÁREA

O operador aéreo que se propõe a utilizar o sistema GNSS como fonte primária de navegação necessita cumprir diversos parâmetros, a fim de garantir a segurança da operação. Conforme (BRASIL, 2009, p.5):

Somente deverão ser executados por operadores e aeronaves aprovados pelo Estado de Registro ou Estado do Operador, conforme o caso. O processo de aprovação de operadores e aeronaves brasileiras é estabelecido pela Agência Nacional de Aviação Civil.

Tipicamente os receptores GNSS devem atender, pelo menos, aos requisitos estabelecidos no Anexo10, volume I, e no Doc. 9613 (Manual PBN), ambos da Organização de Aviação Civil Internacional, observando as classes de equipamentos necessárias para a operação em cada fase do voo.

Quando houver discrepância significativa entre as informações do receptor GNSS e dos auxílios à navegação aérea instalados em solo, os pilotos deverão utilizar as informações provenientes destes últimos.

O DECEA já orienta os operadores, em caso de perda do sinal GPS, para a reversão ao método tradicional de navegação com o uso de auxílios em solo para a orientação espacial e navegação. Cada aeronave, a depender do sistema de navegação embarcado, possui o seu meio de verificação de acuracidade e, por consequência, métodos específicos para reversão à navegação convencional como meio de navegação primária.

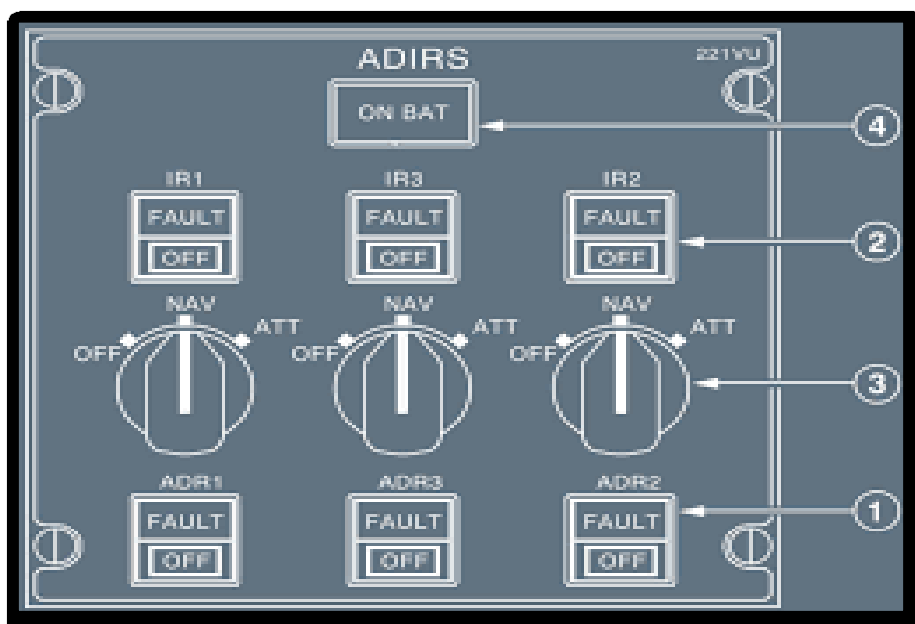
Tomar-se-á como base o procedimento de contingência para perda do sinal de GPS relacionado às aeronaves da família *AIRBUS A320*. O sistema de gerenciamento de voo desta aeronave é conhecido como FMGS – *Flight Management and Guide System*, Sistema de Gerenciamento e Guia de Voo. Esse processo se utiliza tanto de equipamentos de navegação embarcados, bem como auxílios de solo para computar sua posição. Os sistemas utilizados são: “IRS-GPS, IRS-DME/DME, IRS-VOR/DME, ou apenas o IRS.” (AIRBUS, Fcom, 2018, p.483).

Tal sistema é composto por três equipamentos inerciais e dois receptores de GPS e através de um *mix* destes cinco dispositivos navegadores ela computa sua posição. Os dispositivos de Navegação Inercial nesta aeronave são conhecidos como ADIRU – *Attitude Data Inercial Reference Unit* – Dispositivo Inercial de Referência de dados e Atitude.

O ADIRU1 seleciona o GPS1 e o ADIRU2 seleciona o GPS2. A seleção do ADIRU3 depende da posição da chave seletora de ATT HDG. Se uma das fontes de GPS é rejeitada pelos ADIRUs, todos os ADIRUs selecionarão a mesma fonte de GPS. Como resultado, os dados de GPS que não são selecionados estarão pontilhados na página de monitoramento do GPS. A

mensagem *GPS PRIMARY LOST* será mostrada. (FCOM, 2018, p. 474, tradução nossa).

Figura 2 - Painel ADIRU A32F



Fonte: AIRBUS, 2020.

Durante o voo, caso os pilotos encontrem tal mensagem, o fabricante da aeronave recomenda o seguinte procedimento:

Em aeronaves equipadas com *GPS Primary*, não é necessário um cheque de acuracidade, desde que o *GPS Primary* esteja disponível.

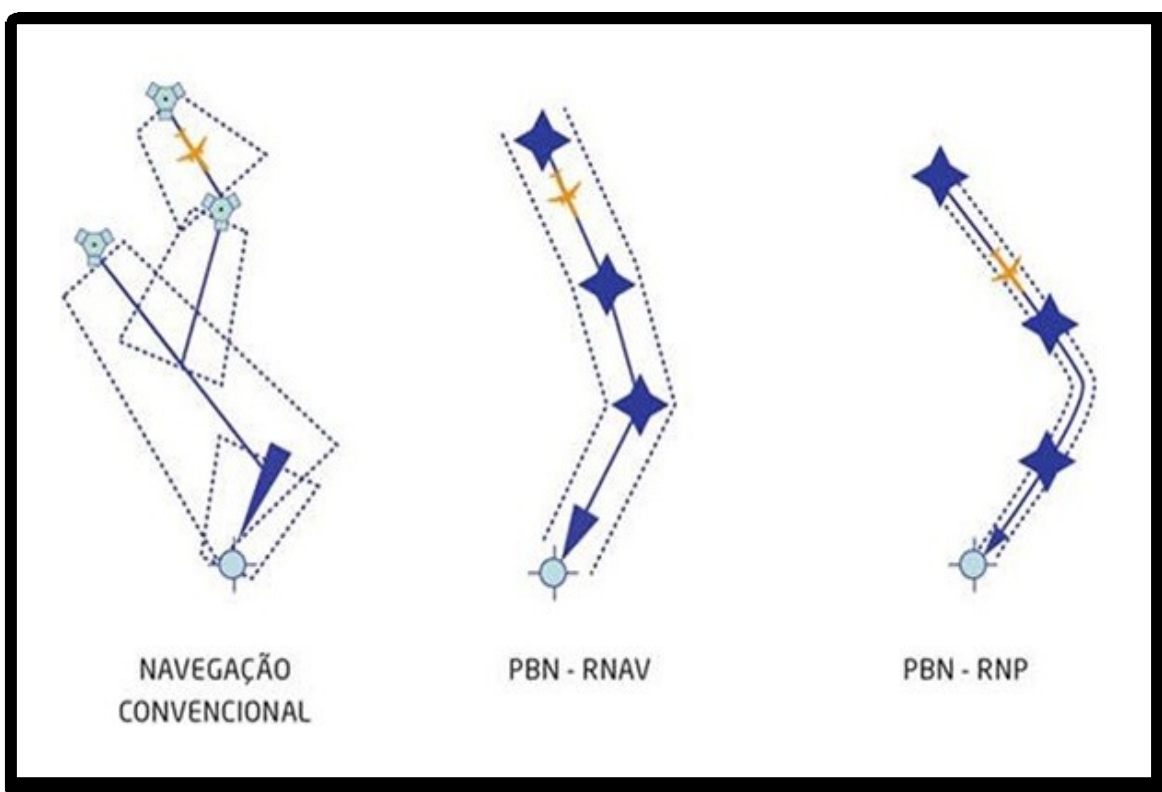
Entretanto, um cheque de acuracidade deve ser realizado especialmente no surgimento da seguinte mensagem:

GPS PRIMARY LOST. Neste caso, [...] use método de navegação convencional e monitore. (FCOM, 2018, p.6060, tradução nossa).

Assim sendo, tanto o DECEA quanto o fabricante da aeronave convergem para o uso do método convencional de navegação como procedimento de contingência em caso de perda do sinal de GPS. Vale lembrar que este procedimento é obtido sintonizando-se um auxílio em solo, via equipamento de rádio, e através deste executar a navegação de forma convencional sobreando os auxílios, utilizando radiais²² ou rumo de afastamentos específicos até atingir um novo auxílio.

²² Rumo magnético tomado a partir de um VOR.

Figura 3- Rotas de navegação convencional, RNAV e RNP



Fonte: Hangar 33, 2020.

Além dos procedimentos de contingência da aeronave, há outros procedimentos de contingência em relação ao espaço aéreo. Após a oficialização do conceito CNS/ATM - *Communication Navigation and Surveillance / Air Traffic Management* (Comunicação, Navegação e Vigilância / Gerenciamento de Tráfego Aéreo) pela ICAO na 10ª Conferência de Navegação, os Estados membros propuseram a modernização dos sistemas de comunicação e navegação aeronáutica, visando a melhoria na vigilância dos voos. Com isso, muitas aerovias²³ deixaram de ser demarcadas por equipamentos de solo e passaram a ter seus fixos de notificação e limites laterais sustentados também pela tecnologia disposta pelo conceito de navegação de área. Com isso, as contingências para estes tipos de aerovias estão dispostas conforme se descreve abaixo (BRASIL, 2017, p.40):

Uma aeronave não pode adentrar ou continuar as operações em espaço aéreo designado como RNAV, no caso de perda ou degradação da capacidade de navegação de acordo com os critérios de desempenho compatíveis com a operação. Caso seja observada alguma falha que comprometa o desempenho dos sistemas de navegação RNAV e, consecutivamente, a plena execução das

²³ Área de controle ou parte dela, estabelecida em forma de corredor, cuja linha central é definida por auxílios à navegação. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_por/tr99.htm. Acesso em: 29 abr. 2020.

remotas, continentais e terminais. Os procedimentos para RNP 0.3 e RNP 0.1 não serão abordados, haja vista serem destinados aos procedimentos de aproximação.

3.2.1 Rnav 10

A especificação de navegação exige da aeronave uma precisão mínima de 95% do tempo, de forma que o desvio lateral não seja superior a 10NM, daí o nome RNAV 10. Muitos documentos tratam desse requisito como RNP 10, termo aceitável para definir tal conceito, mesmo sem que haja a necessidade de equipamento embarcado que monitore e alerte os pilotos dos desvios laterais em relação ao posicionamento da aeronave.

Tem sido utilizado desde o final da década de 90, sendo um dos mais antigos modelos de RNAV aplicáveis em áreas oceânicas ou continentais remotas onde a separação lateral e longitudinal é de no mínimo 50 NM. Conforme (BRASIL, 2017, p.30):

Atualmente existem diversas rotas que foram estruturadas valendo-se do conceito RNAV 10. Dentre as rotas existentes, abaixo são citados alguns exemplos:

- a) Rotas no corredor Euro SAM, interligando América do sul e Europa;
- b) Rotas entre Santiago do Chile e Lima-Peru;
- c) Sistema de rotas do Atlântico Norte (WATRS²⁴) e algumas rotas de controle oceânico de Miami (Estados Unidos) e San Juan (Porto Rico).

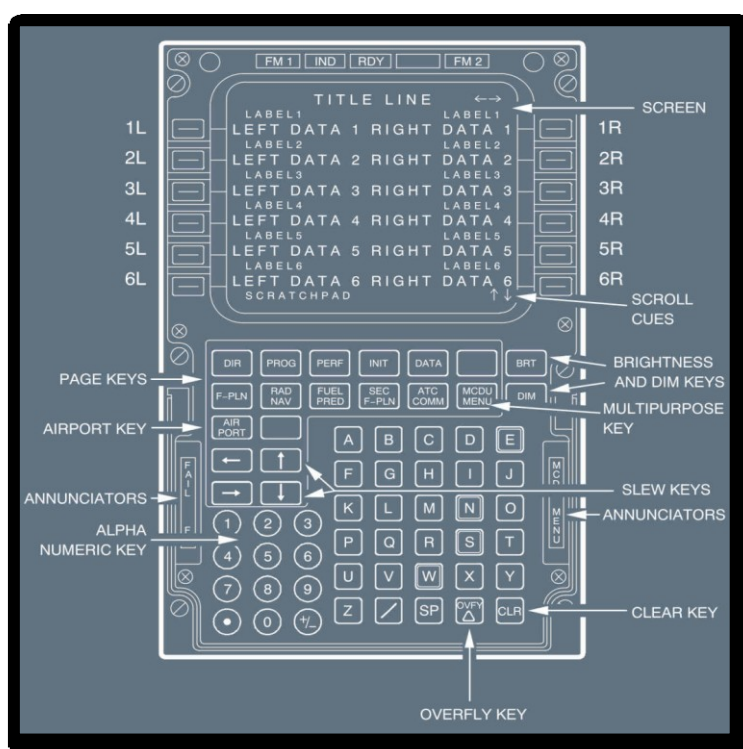
As aeronaves da família A320 serão referência para a lista de equipamentos necessários ao voo nos referidos espaços aéreos. Para ingresso no espaço aéreo RNAV10 demandam-se os seguintes equipamentos:

Dois FMGCs (ou um FMGC e um dispositivo alternativo de navegação);
Dois MCDUs²⁵;
Dois Inerciais;
Duas telas de navegação (a informação temporária de dados da tela de navegação é permitida pelo uso da seletora entre a tela de voo primária e a tela de navegação);
Um GPS caso o tempo de voo fora da cobertura de auxílios de rádio sejam maiores que:
6.2 horas a partir do alinhamento do IRS em solo, ou;
5.7 horas desde a última atualização Sistema de Gerenciamento de voo.
(AIRBUS, Fcom, 2018, p. 6644, tradução nossa).

²⁴ WATRS – West Atlantic Route System – Sistema de Rotas do Atlântico Norte.

²⁵ MCDU – Multipurpose Control and Display Unit. Unidade multifuncional de controle e exibição de dados.

Figura 5 - Interface MCDU



Fonte: AIRBUS, 2020

3.2.2 Rnav 5

É um padrão utilizado apenas em rotas continentais. Da mesma forma como no sistema de RNAV 10, não é necessário dispositivo de alerta aos pilotos em caso de desvio lateral excessivo. E não requer base de dados do computador de voo dotada todos os pontos da rota a serem voados, podendo ser inseridos manualmente. Por esta razão, é utilizado apenas em áreas continentais, pois, além disso, depende da combinação dos sinais de satélite com sinais de: VOR/DME, DME/DME, INS ou IRS e ou GNSS²⁶. (BRASIL, 2017, p.38).

Para ingresso nessas áreas, as aeronaves A32F necessitam dos seguintes equipamentos:

- Um FMGC;
 - Um MCDU;
 - Um GPS ou Receptor DME;
 - Duas telas de navegação (a informação temporária de dados da tela de navegação é permitida pelo uso da seletora entre a tela de voo primária e a tela de navegação);
 - Um Inercial.
- (AIRBUS, Fcom, 2018, p.6646, tradução nossa).

²⁶ Sistema Multissensorial.

3.2.3 Rnav 4

O procedimento RNAV 4 destina-se às operações também em áreas oceânicas, porém, diferencia-se do procedimento RNAV 10 no que diz respeito à distância lateral e longitudinal mínima e, também, da disponibilidade de auxílios a navegação em solo. O procedimento RNAV 4 pode ser operado apenas com o sistema GNSS e/ou GNSS *Stand-alone*²⁷ sendo os mínimos de separação lateral e longitudinal reduzidos para 30 NM.

Para que seja viável a operação *Stand-alone*, o sistema de navegação a bordo deve contar com dois sistemas de navegação de longo alcance, a fim de permitir a redução do limite lateral de 50NM para 30 NM, e também, não necessitar de auxílios rádio em solo para aumentar a precisão do sistema.

Os equipamentos embarcados para este tipo de navegação devem ser:

- Dois FMGCs (ou um FMGC e um dispositivo alternativo de navegação);
- Dois MCDUs;
- Dois Inerciais;
- Um GPS;
- Duas telas de navegação (a informação temporária de dados da tela de navegação é permitida pelo uso da seletora entre a tela de voo primária e a tela de navegação);
- Um Inercial.

(AIRBUS, Fcom, 2018, p.6648, tradução nossa).

Para este tipo de procedimento, há a necessidade de dois dispositivos de navegação de longo alcance; neste caso, além do GPS, a aeronave necessita estar equipada de dois sistemas de Navegação Inercial o que torna possível a operação GNSS *Stand-alone*.

3.2.4 Rnav 1 e 2

Devido à proximidade de requisitos necessários para as operações RNAV 1 e 2, ambos serão abordados de maneira conjunta, estes procedimentos destinam-se às Áreas Terminais de Aproximação - TMA, tanto para procedimentos de chegada STAR, bem como para procedimentos de saída, SID. Segundo DECEA (2017), em relação à nomenclatura do procedimento RNAV, em novembro de 2000, o JAA²⁸ (*Joint Aviation*

²⁷ Os receptores GNSS diferenciam-se em *stand-alone* e multissensores. Os primeiros necessitam apenas do próprio sistema GNSS para referenciamento. Já os multissensores, juntamente com o sistema GNSS, utilizam-se do sistema inercial, DME e ou VOR para determinar o posicionamento.

²⁸ Joint Aviation Authorities – Autoridades Comuns da Aviação. São o organismo europeu no qual varias autoridades, de vários países europeus (da União Europeia e países não membros), trabalham em conjunto

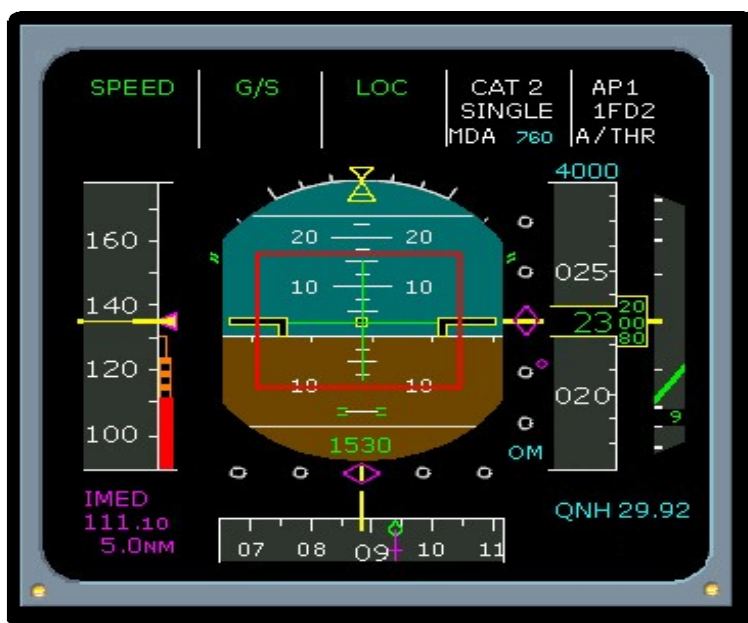
Authorities) publicou a TGL Temporary Guidance Leaflet²⁹ nº10 que estabelece os critérios de execução de procedimentos RNAV, neste caso, P-RNAV (*Precision RNAV*). Apesar de esforços por parte da ICAO para padronização das especificações de procedimentos RNAV, no espaço aéreo europeu esses procedimentos ficam com a especificação P-RNAV. Desta forma, quando algum documento expedido pela autoridade aeronáutica europeia referenciar-se a P-RNAV, compreenda-se RNAV 1.

Abaixo descreve-se a lista de equipamentos necessários para a execução dos procedimentos de saída e chegadas em áreas terminais, RNAV 1 e 2:

- Um FMGC;
- Um GPS ou um receptor DME;
- Dois Inerciais;
- Um Diretor de Voo capaz de ser acoplado no modo de Navegação junto ao piloto automático;
- Duas telas de navegação (a informação temporária de dados da tela de navegação é permitida pelo uso da seletora entre a tela de voo primária e a tela de navegação);
- Um Inercial

(AIRBUS, Fcom, 2018, p.6647, tradução nossa).

Figura 6 - *Flight Director*- Diretor de Voo Aeronave A320



Fonte: AIRBUS, 2020

em termos de regulamentação da aviação civil não Europa. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Autoridades_Comuns_da_Avia%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 30 abr. 2020.

²⁹ Guia Temporária de Instrução. Espécie de Instrução Suplementar da Autoridade Aeronáutica Europeia JAA.

Nota-se que cada espaço aéreo requer um determinado tipo de equipamento, ou uma combinação deles, de modo a garantir os princípios de precisão, continuidade, disponibilidade, funcionalidade e integralidade que são os princípios basilares da navegação de área.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo geral analisar quais os benefícios trazidos à navegação aérea em decorrência do uso do GPS e vigilância ADS-B. O método qualitativo foi escolhido pela variedade de materiais disponíveis, tanto por órgãos regulatórios, como pesquisas científicas e documentação de fabricante de aeronaves disponíveis para a pesquisa.

Observou-se o exponencial crescimento dos meios de navegação aérea desde a invenção da aeronave, derivados da navegação marítima, até a implementação do GPS que teve sua gênese em meio à Guerra Fria, com o intuito de facilitar o deslocamento de aeronaves militares e de dispositivos de ataque durante o combate.

Em decorrência da aplicação do GPS como fonte de navegação primária, observou-se o desenvolvimento de rotas de navegação que aos poucos foram abandonando os auxílios de rádio, como o VOR, NDB e DME, para balizar as aerovias e procedimentos de aproximação, para o uso do conceito de navegação de área, de forma a aperfeiçoar o espaço aéreo permitindo um maior fluxo de aeronaves, bem como uma navegação mais curta, reduzindo o consumo de combustível.

Conforme a tecnologia da navegação de área se desenvolveu, percebeu-se a necessidade de regulamentar a aplicação do uso do GPS como fonte de navegação primária. Foram assim criados os conceitos de navegação de área baseadas em performance, conhecido como PBN.

Estabeleceram-se espaços aéreos de forma a atender a capacidade de navegação das aeronaves modernas, tendo por base a capacidade dos aviões em manter a precisão de navegação lateral em 95% do tempo da navegação. Naquele momento, concebeu-se o conceito de rotas aéreas com precisão de 10 NM, 5 NM, 4 NM, 1 e 2 NM. Não obstante, a capacidade de navegação lateral foi tão aumentada que procedimentos de precisão de até 0.1NM foram criados.

Além de um encurtamento das rotas de navegação aérea, economia de combustível, aumento do tráfego de aeronaves em um mesmo espaço aéreo, o GPS mostrou-se muito versátil e amplamente utilizado na aviação como meio de navegação, prático e de baixo custo de manutenção. Certamente, permanecerá em uso por muitos anos até que novas tecnologias de navegação aérea surjam. Como se sabe, a velocidade

da evolução da tecnologia aérea acompanha, de maneira íntima, a velocidade das aeronaves e o desenvolvimento das mesmas.

Logo se notou que a poderosa ferramenta do GPS foi capaz de fornecer muito mais informações do que apenas o georeferenciamento de aeronaves. Os sistemas de vigilância baseados em radares primários e secundários para prover comunicação entre Órgão ATC e aeronaves viram no GPS uma ferramenta que poderia fornecer canal de comunicação direta, rápida, segura e sem interferência de sinais de rádio, regiões montanhosas e áreas sem cobertura radar que enfraqueciam este canal de comunicação.

A Vigilância ADS-B, um sistema automático que utiliza o enlace de dados entre as aeronaves e o órgão de controle por meio de um sistema navegação, entre eles o GPS, foi capaz de prover um número muito maior de informações em um curto espaço de tempo, com qualidade superior ao método anterior. Agora, mais do que posição, altitude e velocidade são trocados dados como informações de origem, destino, identificação de aeronave, razão de subida e descida, informações meteorológicas e informações de outros tráfegos equipados com o mesmo sistema, evitando desta forma, uma possível colisão em voo.

Notam-se, pois diversas vantagens trazidas pelo sistema vigilância ADS-B, desde um custo mais barato para implantação - reduzindo com isso os gastos com ATC/ATM - e um melhor aproveitamento do espaço aéreo, ao se reduzir o espaçamento entre as aeronaves e, por consequência redução do consumo de combustíveis. Além de uma troca de dados muito mais precisa, praticamente em tempo real, aumentando a segurança nas operações aéreas.

Entende-se que desta forma a pesquisa atingiu seu objetivo ao demonstrar os benefícios trazidos à atividade aérea em decorrência da implantação do GPS e do sistema de vigilância ADS-B. Além do mais este trabalho oferece oportunidade para outros estudos e abordagens complementares ao tema escolhido.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. *FCOM – Flight Crew Operating Manual, A319/A320/321*. Toulouse, 2018.

AIRBUS. *Getting to Grips with Surveillance*. Issue 2. 2018

AIRBUS. *Getting to Grips with FANS (Future Air Navigation System)*. Issue IV, 2014.

AIRBUS. *Getting to Grips with Modern Navigation*. Issue 5. 2004.

AISWEB. **Informações Aeronáuticas do Brasil**. Disponível em: <https://www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas>. Acesso em : 28 abr 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **AIC 10-2009, Sistema Global de Navegação Por Satélites – GNSS**. Rio de Janeiro, 2009.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **AIC 24-2013, Implementação Operacional do Conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN) no Espaço Aéreo Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **AIC 40/2018, Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (ADS-B) na TMA Macaé**. Rio de Janeiro, 2018.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **CIRCEA 121-7. Inspeção em voo para vigilância dependente automática por radiodifusão ADS-B**. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **IAC 3512. Orientação para utilização de equipamentos GPS (Global Positioning System) em operações IFR em rota e em terminais e em procedimentos de aproximação não precisão por instrumentos no espaço aéreo brasileiro**. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **IS 91-001E. Aprovação Operacional em navegação baseada em desempenho (PBN)**. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **IS 210-13. Instrução para obtenção de aprovação de instalação de equipamentos GNSS (Global Navigation Satellite System) stand alone para operações VFR e IFR**. Rio de Janeiro, 2016.

HANGAR 33. **PBN: Sinais via Satélite**. Disponível em: <http://blog.hangar33.com.br/pbn-sinais-via-satelite/>. Acesso em: 29 abr. 2020.

ICAO. **DOC 9613, Performance-based Navigation (PBN) Manual**. 3 ed. Canadá, 2008.

MACHADO, Rod. **Rod Machado's Instrument Pilot's Handbook**. 2 ed. [S.l.: s.n.], 2017.

OLIVEIRA, Marcos Fernando Severo de. **Tráfego Aéreo e CNS/ATM**. Palhoça, 2019. Livro didático do curso de Ciências Aeronáuticas da Unisul.

PI FLIGHT. **Sistema de Navegação Inercial**. Disponível em: <https://piflightteoriasdevoo2.blogspot.com/2018/08/sistema-de-navegacao-inercial-inertial.html>. Acesso em: 11 mai. 2020.

SCARSO, E. R.; DOS SANTOS, M. R. **ADS-B: Custo-Benefício para a aviação geral brasileira**. RETEC – Ourinhos, 2018.

SITRAER. **Vigilância aérea. Desmistificando as tecnologias de vigilância dependente automática por radiodifusão e multilateração**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://docslide.com.br/documents/trabalho-academico-ads.html>. Acesso em: 19 fev 2020.

SKYBRARY. **Aviation Safety**. Disponível em: http://www.skybrary.aero/index.php/Automatic_Dependent_Surveillance_Broadcast (ADS-B). Acesso em: 20 de fev. 2020.