



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

LEANDRO DE CARVALHO **MONSORES**, Cap Eng

Integração do Sistema ADS-B ao Sistema de Vigilância ATS do APP Recife

Rio de Janeiro
2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2023

LEANDRO DE CARVALHO **MONSORES**, Cap Eng

Integração do Sistema ADS-B ao Sistema de Vigilância ATS do APP Recife

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Segurança de voo

Orientador: Raphael Osório de Oliveira, Maj Av

Rio de Janeiro

2023

LEANDRO DE CARVALHO **MONSORES**, Cap Eng

Integração do Sistema ADS-B ao Sistema de Vigilância ATS do APP Recife

Trabalho de conclusão de curso apresentado
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica.

Aprovado por:

Alexandre **Fontoura** da Silva, Ten Cel Inf
EAOAR

Raphael **Osório** de Oliveira, Maj Av
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

O centro de controle de aproximação (*Approach Control* – APP) de Recife-PE é responsável por controlar aeronaves que estão em aproximação para o pouso no Aeroporto Gilberto Freyre, que opera com grande número de pousos e decolagens. Nesse caso, ter um sistema de vigilância com alta disponibilidade é importante, não só para evitar atrasos, mas também para a segurança de voo. Entretanto, o sistema de vigilância do APP Recife conta com apenas uma estação radar que, quando deixa de operar por necessidade de manutenção preventiva ou corretiva, acarreta atrasos na malha aérea. Nesse contexto, há o sistema de vigilância dependente automática por radiodifusão (*Automatic Dependent Surveillance-Broadcast* - ADS-B), mais moderno e barato que os radares e cuja implantação está ocorrendo por meio de um projeto, denominado ADS-B Continental, que objetiva controlar aeronaves em altitude de cruzeiro. Este ensaio propõe a integração do ADS-B ao sistema de vigilância do APP-Recife (operando em conjunto à estação radar), como maneira eficiente de aumentar a disponibilidade desse sistema. O uso do ADS-B agregaria eficiência por adicionar aspectos operacionais vantajosos ao sistema e por fazer uso racional de recursos ao aproveitar a infraestrutura de um projeto curso. Como consequência, a implementação do ADS-B não serviria apenas para aumentar a disponibilidade do sistema de vigilância do APP Recife, mas também de modelo para integrar o ADS-B em outros APP, aumentando a segurança de voo e a eficiência da prestação de serviços de controle de tráfego aéreo para a aviação civil.

Palavras-chave: ADS-B. Controle de Tráfego Aéreo. APP. Eficiência.

1 IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE VIGILÂNCIA ATS

O sistema de vigilância de controle de tráfego aéreo (*Air Traffic Control* – ATS) é aquele que determina a posição de uma aeronave, sendo primordial para que os centros de controle garantam o espaçamento especificado entre aeronaves (ALI, 2018). A disponibilidade desse sistema é importante no decorrer de todo voo, mas principalmente durante a aproximação para o pouso, dada a alta incidência de acidentes letais nessa fase. Um relatório da *Boeing* concluiu que apesar do voo de cruzeiro compor a maior parte do tempo no ar, mais da metade de todos os acidentes fatais ocorrem durante a aproximação final e pouso (BOEING, 2022, p. 14).

Nesse contexto, os radares são os equipamentos de vigilância ATS mais difundidos no mundo, no entanto, o sistema de vigilância dependente automática por radiodifusão ou, em inglês, *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast* (ADS-B) vem cada vez mais sendo empregado. Segundo o *International Civil Aviation Organization* (ICAO), o ADS-B possui maior integridade e precisão na determinação de posição e velocidade das aeronaves, quando comparado aos radares (ICAO, 2007).

O Brasil possui 42 centros de controle de aproximação (*Approach Control* - APP), que são os órgãos responsáveis por controlar as aeronaves em aproximação para o pouso (BRASIL, 2023c). O aeroporto de Recife foi o sétimo mais movimentado do país em 2022, com 83.088 pousos e decolagens (BRASIL, 2023a), sendo responsabilidade do APP Recife controlar a aproximação de aeronaves que tenham esse aeródromo como destino.

Diferentemente de outros APP de grande movimentação, como São Paulo e Rio de Janeiro, o APP Recife conta com apenas uma estação radar para prover vigilância ATS na região, havendo impacto operacional quando é necessário executar manutenções preventivas ou corretivas nessa estação. Isso ocorre porque sem o sistema de vigilância (operação convencional), o piloto passa a ter que informar sua posição ao centro de controle e, por segurança, o controlador aumenta o espaçamento entre as aeronaves, o que leva a atrasos de voos.

Dessa forma, uma possível solução seria adicionar um radar para trabalhar junto à estação radar atual (equipamento redundante), aumentando a disponibilidade do sistema de vigilância do APP Recife. Cabe registrar, porém, que está em fase inicial de instalação um sistema ADS-B para controle de voos em rota (voo de cruzeiro), a partir do nível de 24.500 pés, denominado ADS-B Continental. Entretanto, o projeto

não contempla os APP, por isso o sinal do sistema será enviado apenas aos centros de controle de área (*Area Control Center – ACC*), órgãos responsáveis por controlar aeronaves niveladas em rota (voo de cruzeiro).

Apesar do projeto ADS-B Continental não ter sido concebido para controle de aeronaves em aproximação, este ensaio defende integrar o sinal ADS-B ao sistema de vigilância ATS do APP Recife como forma eficiente de aumentar a disponibilidade desse sistema.

Nesse cenário, argumenta-se que o sistema ADS-B se mostra eficiente por agregar aspectos operacionais vantajosos ao atual sistema de vigilância ATS e por fazer uso racional de recursos ao aproveitar uma infraestrutura que já será instalada.

2 O SISTEMA ADS-B NO CONTEXTO BRASILEIRO

Automatic Dependent Surveillance-Broadcast é um sistema de vigilância automática (*automatic*), pois as aeronaves enviam dados periodicamente, independente de solicitação. O posicionamento e velocidade são extraídos do sistema de navegação global por satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*) de bordo e, em virtude dessa dependência do GNSS, o ADS-B é classificado como um sistema dependente (*dependent*). A transmissão se dá por radiodifusão (*broadcast*), uma vez que são realizadas de maneira livre (sem definição de destinatário), podendo ser recebida por qualquer estação ADS-B (KOŽOVIĆ *et al.*, 2023).

Em 2018 entrou em operação o sistema ADS-B da bacia petrolífera de Campos, para complementar a cobertura da estação radar instalada no aeroporto de Macaé. Essa estação cobre a região das plataformas de extração de petróleo *offshore*, mas não detecta helicópteros quando estão a baixas altitudes (em aproximação para o pouso). Assim, por meio das estações ADS-B instaladas nas plataformas, helicópteros transmitem suas localizações ao centro de controle, permitindo que os controladores tenham informações de posição até o pouso na plataforma.

O projeto de instalação do sistema ADS-B continental não prevê integração do sinal das estações com o sistema de vigilância dos APP e isso tem relação direta com o número de estações a serem instaladas. Para se ter uma ideia, em 2020 os Estados Unidos das Américas (EUA) já possuíam aproximadamente 650 estações ADS-B (AIREON, 2020), enquanto no Brasil se espera instalar 66 até 2026 (BRASIL, 2023b). Porém, assim como os Estados Unidos, o Brasil é um país de dimensões continentais,

logo, essa diferença numérica evidencia que essa quantidade não seria suficiente para detectar em todo território nacional aeronaves a baixas altitudes.

Isso ocorre porque, devido a obstáculos e curvatura da terra, uma aeronave a baixa altitude deixa de ser detectada à medida que se afasta da estação ADS-B, e somente é detectada novamente ao se aproximar de outra estação. Por isso, o número de estações está relacionado não só ao tamanho da área, mas também à altitude de interesse. Cabe registrar, ainda, que os ACC proveem serviço de vigilância ATS a partir do nível 15.000 pés (BRASIL, 2018) e, como o projeto prevê garantia de cobertura apenas para voos a partir de 24.500 pés, aponta-se que a cobertura ADS-B não será suficiente para todos os níveis de operação dos ACC.

2.1 Ganhos operacionais com o ADS-B no APP Recife

A estação radar que dá suporte à vigilância ATS ao APP Recife é composta por um radar primário combinado a um radar secundário, com suas respectivas antenas montadas no mesmo mecanismo de giro. Os radares primários utilizam a reflexão de ondas eletromagnéticas na superfície da aeronave para determinação de posição, enquanto os secundários são cooperativos, pois precisam que o sensor da aeronave (*transponder*) responda às interrogações para determinar a posição.

Os radares primários são mais utilizados para defesa aérea, pois podem detectar aeronaves intrusas (*transponder* desligado), ao passo que os radares secundários são mais importantes para o controle de tráfego aéreo, pois conseguem prover ainda a identificação e altitude da aeronave (fornecidas pelo *transponder*).

Alguns tipos de panes (em especial as do mecanismo de giro), atingem o funcionamento de toda a estação radar de Recife, afetando a vigilância ATS. Por isso, a integração do ADS-B ao sistema de vigilância aumentaria a disponibilidade desse sistema, agregando ainda outras melhorias de performance operacional.

O fato de ADS-B utilizar os GNSS de bordo como base para determinação de posição e velocidade das aeronaves trouxe precisão na determinação de posição e velocidade das aeronaves, visto que esses sistemas de posicionamento foram muito desenvolvidos nos últimos anos (ALI, 2018).

O ADS-B apresenta ainda maior integridade quando comparado aos radares, devido à maior probabilidade da informação apresentada ser condizente com a realidade. Por exemplo, os radares secundários conseguem informações de

identificação e altitude ao interrogar os *transponders*, mas precisam calcular a velocidade e a posição com base nas características do sinal recebido. Entretanto, devido aos efeitos de propagação do sinal (reflexão em obstáculos, por exemplo), os radares podem apresentar posições e velocidades incorretas. Isso não ocorre com o ADS-B, pois todas as informações são fornecidas automaticamente pelo *transponder*, diminuindo os efeitos adversos da propagação (aumento de integridade).

A taxa de atualização de um radar está relacionada ao tempo que o mecanismo de giro demora para completar uma volta. O radar de Recife leva 4s para rotacionar, ou seja, a cada 4s o controlador tem uma atualização da posição da aeronave. Já a estação ADS-B trabalha com uma antena fixa (sem mecanismo de giro), onde a taxa de atualização é definida pelo período entre o envio das mensagens pelo *transponder*, que é de aproximadamente 0,5s (ICAO, 2022). Essa taxa de atualização menor representa uma outra vantagem do ADS-B, pois fornece ao controlador uma consciência situacional mais fidedigna ao movimento de aeronaves.

A integração do ADS-B a um sistema de vigilância pode se dar de três formas: pelo uso de um monitor de vídeo adicional ao utilizado para os sinais de radar; por um sistema que priorize uma fonte de dados em relação a outra, descartando dados menos prioritários (a menos que o sistema principal fique inoperante); e pelo uso das duas tecnologias (ADS-B e radar) simultaneamente para calcular a melhor estimativa de posição da aeronave (ALI, 2018). O uso das duas tecnologias simultaneamente para calcular a melhor estimativa de posição das aeronaves melhoraria o desempenho do sistema de vigilância ATS do APP Recife com as vantagens de diferentes tipos de sensores de vigilância (JEON; EUN; KIM, 2015).

Dessa forma, integrar o sinal da estação ADS-B de Recife ao sistema de vigilância ATS aumentaria a disponibilidade desse sistema de maneira eficiente, pois adicionaria ganhos operacionais relacionados à integridade, precisão e taxa de atualização.

2.2 Uso racional de recursos por meio de aproveitamento de infraestrutura

A economicidade é um princípio constitucional da administração pública e define que é dever do Estado executar seus gastos de maneira eficiente para o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis, pois é direito do cidadão um dinheiro público bem administrado (BELTRÃO, 2022).

O valor médio de instalação de uma estação ADS-B é 10 vezes menor que de um radar (SERIO; GIOVANNITTI; ROUTE, 2017), e o custo de manutenção é 20 vezes inferior (ALI, 2018). Esse custo reduzido já faria do ADS-B uma solução mais eficiente do que instalar outro radar para compor a vigilância ATS do APP Recife (recurso adotado em outros APP de grande circulação).

Entretanto, foi observado que uma das 66 estações ADS-B será instalada bem próxima às pistas do aeroporto de Recife (Gilberto Freyre) e essa localização permite que aeronaves em aproximação para o pouso sejam detectadas. Por isso, aproveitando-se dessa posição privilegiada, foram feitas simulações por meio do *software* EMACS, que apontaram que a cobertura dessa estação atenderia à área de atuação do APP. EMACS é uma ferramenta de gerenciamento de informações aeronáuticas que aplica técnicas avançadas de simulação para realizar análises de ambiente eletromagnético em aeroportos e em rota (IDS AIRNAV, [s.d]).

A área de atuação do APP Recife é composta pela área de controle terminal (*Terminal Control Area - TMA*) e pela zona de controle (*control zone - CTR*). A TMA é a região quando as aeronaves estão se aproximando para o pouso ou que decolaram e estão ganhando altitude, enquanto a CTR é uma área mais baixa, onde ocorrem efetivamente os procedimentos finais para pouso ou decolagem.

A CTR e a TMA estão representadas na carta de informações aeronáuticas de área de Recife (BRASIL, 2020b). A faixa de altitude dessa CTR inicia ao nível do solo e termina a 3.500 pés, enquanto a da TMA vai de 3.500 a 195.000 pés. Como a estação ADS-B será posicionada com visada livre para as pistas, em local adjacente, não haveria problema para detectar aeronaves muito próximas ao aeroporto. Então, para demonstrar que dentro da CTR os procedimentos de pouso e decolagem seriam suportados pela cobertura ADS-B, foi feita uma simulação em 1.000 pés, visto que é o nível de voo mais baixo aferido nas inspeções em voo (BRASIL, 2020a). Quanto à TMA, foi feita uma simulação no seu primeiro nível de atuação (3.500 pés) e, assim como para a CTR, obteve-se cobertura satisfatória, considerando a área de atuação prevista na carta de informações aeronáuticas de área.

Ainda no quesito da economicidade, quando uma manutenção exige um tempo prolongado (mais de uma semana, por exemplo), ou durante um processo de modernização ou substituição de um radar, a área operacional pode solicitar o uso de um radar transportável para prover vigilância provisória. O Parque de Material de Eletrônica da Aeronáutica do Rio de Janeiro (PAME-RJ) é responsável por fazer essa

manobra, que engloba custos como: transporte do radar; contratação de serviços de içamento de carga (guindaste); passagem aérea e diárias para a equipe que vai montar e ajustar o radar; e voos de inspeção.

Por isso, integrar o ADS-B à infraestrutura de controle de tráfego aéreo do APP Recife é uma forma eficiente de empregar recursos públicos para aumentar a disponibilidade do seu sistema de vigilância ATS.

3 CONCLUSÃO

Esse ensaio abordou a importância dos sistemas de vigilância ATS, em especial durante a fase de aproximação para o pouso, em que há maior ocorrência de acidentes com vítimas fatais. Por isso, os controladores de tráfego aéreo de centros de controle de aproximação precisam que esse sistema possua alta disponibilidade.

Nesse sentido, o fato de o APP Recife contar com apenas uma estação radar, ou seja, não possuir redundância de meios para prestar serviços de controle de tráfego aéreo, se mostra uma oportunidade de melhoria quanto à disponibilidade de vigilância.

A solução de integração do ADS-B ao sistema de vigilância do APP Recife aumentaria a integridade e a precisão na determinação de posicionamento e velocidade de aeronaves, além de fornecer uma taxa de atualização menor. Esses ganhos operacionais se refletem em eficiência, visto que o controlador teria uma consciência situacional mais fidedigna do posicionamento das aeronaves.

Tal integração evitaria gastos com uso de radares transportáveis para provimento de vigilância ATS temporária em casos de inoperância da estação radar. Essa abordagem se mostra eficiente na aplicação de recursos públicos, não só por essa economia a longo prazo, mas também pelo fato de fazer aproveitamento de infraestrutura que já será instalada.

Por esses aspectos, este ensaio sustenta integrar o sinal ADS-B ao sistema de vigilância ATS do APP Recife como solução eficiente para elevação de sua disponibilidade.

Por fim, registra-se que, com essa implementação, o Brasil ganha em segurança de voo e se moderniza no contexto internacional de controle de tráfego aéreo civil. Ademais, este estudo serve de base para análise da viabilidade de integração de outras estações ADS-B do projeto ADS-B Continental a outros centros de controle de aproximação.

REFERÊNCIAS

AIREON. **The Executive Reference Guide to Space-Based Ads-B: Delivering Global Air Traffic Surveillance and Data for Innovation to All Aviation Stakeholders**, 2020. Disponível em: <https://aireon.com/resources/brochures-guides/executive-reference-guide-space-based-ads-b/>. Acesso em: 16 jun. 2023.

ALI, Busyairah Syd. **Aircraft Surveillance Systems: Radar Limitations and the Advent of the Automatic Dependent Surveillance Broadcast**. Routledge, 2018, E-book.

BELTRÃO, Irapuã. **Princípio da Economicidade: a atuação do Estado e o gasto eficiente como direito do contribuinte e do cidadão**. Editora Dialética, 2022. E-book.

BOEING. **Statistical summary of commercial jet airplane accidents: Worldwide operations 1959–2021**, 2022. Disponível em: https://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo 2022**, 2023a. Disponível em: http://portal.cgna.decea.mil.br/files/uploads/anuario_estatistico/anuario_estatistico_2022.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Novo sistema de vigilância da FAB garantirá mais segurança aos voos no espaço aéreo brasileiro**, 2023b. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=novo-sistema-de-vigilancia-da-fab-garantira-mais-seguranca-aos-voos-no-espaco-aereo-brasileiro. Acesso em: 16 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Relatório de Performance ATM do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) 2022**, 2023c. Disponível em: <https://performance.decea.mil.br/storage/performance/uploads/2023/06/Relatorio-de-Performance-ATM-do-SISCEAB-2022.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria DECEA nº 204/DGCEA, de 8 de novembro de 2018. Aprova a modificação da instrução sobre as “Regras do Ar” (ICA 100-12). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 212, f. 13854, 5 dez. 2018.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria DECEA nº 282/DGCEA, de 1º de dezembro de 2020. Aprova a reedição do Manual que dispõe sobre os procedimentos operacionais de inspeção em voo. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 227, f. 16390, 14 dez. 2020a.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle de Tráfego Aéreo. **Carta de Informações Aeronáuticas – ARC RECIFE**, 29 dez. 2020b. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/?i=aerodromos&codigo=SBWF>. Acesso em: 17 jun. 2023.

EMACS. **IDS AIRNAV**, [s.d]. Disponível em: <https://www.idsairnav.com/main-areas/aim/airport-em-environment/emacs/>. Acesso em: 17 jun. 2023.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **Guidance material on comparison of surveillance technologies (GMST)**, 2007. Disponível em: https://www.icao.int/apac/documents/edocs/cns/gmst_technology.pdf. Acesso em: 16 jun. 2023.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). **ADS-B Implementation and Operations Guidance Document**, ed. 15, 2022. Disponível em: <https://www.icao.int/APAC/Documents/edocs/cns/AIGD%20Edition%202015.0.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

JEON, Daekeun; EUN, Yeonju; KIM, Hyounkyoung. Estimation fusion with radar and ADS-B for air traffic surveillance. **International Journal of Control, Automation and Systems**, v. 13, p. 336-345, 2015.

KOŽOVIĆ, Dejan *et al.* Air traffic modernization and control: ADS-B system implementation update 2022: A review. **FME Transactions**, v. 51, n. 1, p. 117-130, 2023.

SERIO, Christopher; GIOVANNITTI, Aldo; ROUTE, En. **Low-Cost Technology to Improve Aviation Safety and Efficiency: Investment Program Brings Modernized Aviation Information Technology to Pacific Islands**, 2017.