



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

JOSÉ **PEDRO** DA SILVA NETO, Ten Cel Av

**Implantação da tecnologia ADS-B e os impactos na segurança da atividade aérea**

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

JOSÉ **PEDRO** DA SILVA NETO, Ten Cel Av

**Implantação da tecnologia ADS-B e os impactos na segurança da atividade aérea**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso Avançado de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica, como requisito parcial para aprovação.

Linha de Pesquisa: Poder Aeroespacial.

Orientador: Evandro Carlos Baranzelli.

Rio de Janeiro

2023

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a conclusão deste trabalho de pesquisa. Primeiramente, quero expressar a mais sincera gratidão a Deus por me conceder a oportunidade e a habilidade de levar este projeto a termo.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador pelo apoio e dedicação. Sua experiência e visão crítica foram fundamentais para a condução desta pesquisa. Sua disposição em compartilhar conhecimentos e orientações constantes foram elementos-chave que me guiaram ao longo deste percurso acadêmico.

Além disso, devo expressar minha gratidão à Biblioteca da Universidade da Força Aérea por disponibilizar um ambiente propício para minhas pesquisas, fornecendo acesso a recursos valiosos, literatura acadêmica atualizada e suporte na busca por informações relevantes.

Em seguida, faz-se imprescindível agradecer imensamente aos meus familiares. Suas palavras de incentivo, encorajamento e compreensão nos momentos de ausência foram de grande valia. Agradeço, acima de tudo, pela paciência que tiveram comigo durante essa jornada, pela compreensão quando precisei me ausentar em prol da pesquisa e pelo constante apoio moral e emocional. Suas presenças e apoio incondicional me motivaram a perseverar, mesmo diante dos desafios e obstáculos encontrados.

Adicionalmente, gostaria de estender meus agradecimentos aos colegas de classe e aos oficiais entrevistados que colaboraram com este trabalho. As discussões e sugestões enriqueceram minha compreensão do tema e me incentivaram a aprimorar minha pesquisa. Agradeço a todos os envolvidos, pois cada interação e troca de ideias foram inestimáveis para o crescimento e desenvolvimento deste estudo.

Por fim, quero expressar minha gratidão a todos aqueles que, de alguma maneira, influenciaram positivamente minha trajetória acadêmica. Agradeço aos instrutores e mentores os quais me incentivaram e desafiaram a buscar conhecimentos além dos limites estabelecidos. Suas contribuições acadêmicas e intelectuais foram fundamentais para minha formação.

## RESUMO

Este artigo objetiva analisar os impactos da implantação da tecnologia ADS-B na segurança de voo das Unidades Aéreas de instrução da Base Aérea de Natal. O ADS-B é um sistema de vigilância aeronáutica que permite aprimorar a precisão e a periodicidade do fluxo de informações essenciais à segurança de voo, como informações de rota, de aeródromo, meteorológicas e de tráfego aéreo. A metodologia utilizada baseou-se na revisão da literatura existente, pesquisa bibliográfica e entrevistas com especialistas, nas quais foram observados benefícios significativos para a segurança da atividade aérea desenvolvida por essas Unidades da FAB. Os resultados indicaram que a implementação do ADS-B proporciona melhorias significativas nas habilidades críticas à segurança de voo, como comunicação aeronáutica, trabalho em equipe, consciência situacional e processo decisório. Além disso, o sistema fornece informações precisas em tempo real aos controladores de tráfego aéreo, facilitando a coordenação e aumentando a eficiência operacional. Conclui-se que a implantação do ADS-B nas Unidades Aéreas de instrução da Base Aérea de Natal é uma medida essencial para aprimorar a segurança de voo, promovendo um ambiente operacional mais seguro e eficiente, preservando os recursos humanos e materiais da Força e, conseqüentemente, salvaguardando sua capacidade de combate.

**Palavras-chave:** ADS-B; segurança de voo; Unidade Aérea de instrução; habilidades críticas.

## **ABSTRACT**

*This article aims to analyze the impacts of implementing ADS-B technology on the flight safety of the Aerial Instruction Units at Natal Air Base. ADS-B is an aeronautical surveillance system that enhances the accuracy and frequency of essential flight safety information, such as route information, aerodrome data, meteorological conditions, and air traffic. The methodology employed in this study consisted of literature review, bibliographic research, and expert interviews, which revealed significant benefits for the safety of aviation activities carried out by these FAB units. The results indicated that the implementation of ADS-B brings about significant improvements in critical flight safety skills, such as aeronautical communication, teamwork, situational awareness, and decision-making processes. Additionally, the system provides real-time, accurate information to air traffic controllers, facilitating coordination and enhancing operational efficiency. In conclusion, the deployment of ADS-B in the Aerial Instruction Units at Natal Air Base is an essential measure to enhance flight safety, promoting a safer and more efficient operational environment, while preserving the human and material resources of the Air Force and safeguarding its combat capability.*

**Keywords:** *ADS-B; flight safety; Aerial Instruction Unit; critical skills.*

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ADS-B</b>	Vigilância Automática Dependente por Radiodifusão
<b>AFA</b>	Academia da Força Aérea
<b>ATC</b>	Controle de Tráfego Aéreo
<b>ATCO</b>	Controlador de Tráfego Aéreo
<b>BANT</b>	Base Aérea de Natal
<b>CACEM</b>	Curso Avançado de Comando e Estado-Maior
<b>CAOP</b>	Carta de Acordo Operacional
<b>CASA</b>	Autoridade de Segurança da Aviação Civil
<b>CEO</b>	Curso de Especialização Operacional
<b>CINDACTA III</b>	Terceiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo
<b>CTR</b>	Zona de Controle
<b>DECEA</b>	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
<b>EMAER</b>	Estado-Maior da Aeronáutica
<b>ECEMAR</b>	Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica
<b>FAA</b>	Administração Federal de Aviação
<b>FAB</b>	Força Aérea Brasileira
<b>FIS-B</b>	Serviço de Informação de Voo por Radiodifusão
<b>GPS</b>	Sistema Global de Posicionamento
<b>ICAO</b>	Organização de Aviação Civil Internacional
<b>IFR</b>	Regra de Voo por Instrumento
<b>OM</b>	Organização Militar
<b>PAOP</b>	Projeto de Atividades Operacionais
<b>1º EIA</b>	Primeiro Esquadrão de Instrução Aérea
<b>1º/5º GAV</b>	Primeiro Esquadrão do Quinto Grupo de Aviação
<b>1º/11º GAV</b>	Primeiro Esquadrão do Décimo Primeiro Grupo de Aviação
<b>2º/5º GAV</b>	Segundo Esquadrão do Quinto Grupo de Aviação
<b>SFJ</b>	Sequência de Falha de Julgamento
<b>SIGCEA</b>	Sistema de Informações Gerenciais do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo
<b>SISCEAB</b>	Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro
<b>TIS-B</b>	Serviço de Informação de Tráfego por Radiodifusão
<b>TMA</b>	Área de Controle de Terminal

**UAE**  
**VFR**

Unidade Aérea  
Regra de Voo Visual

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>111</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>133</b>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>Características do Sistema ADS-B.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.8</b>
<b>4.2</b>	<b>Influência do Sistema ADS-B na Comunicação Aeronáutica.....</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Influência do Sistema ADS-B no Trabalho em Equipe.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.2</b>
<b>4.4</b>	<b>Influência do Sistema ADS-B na Consciência Situacional.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.4</b>
<b>4.5</b>	<b>Influência do Sistema ADS-B no Processo Decisório.....</b>	<b>Erro! Indicador não definido.26</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>28</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>311</b>
	<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>313</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>316</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Base Aérea de Natal (BANT) é uma Organização Militar do Comando da Aeronáutica atualmente responsável por apoiar permanentemente cinco Unidades Aéreas (UAE) que se encontram sediadas, sendo duas destinadas ao emprego da Força e três vocacionadas à capacitação de recursos humanos, mais precisamente de oficiais aviadores, sendo estas últimas o cerne deste trabalho.

Considerando-se a atual trilha de capacitação dos oficiais aviadores da Força Aérea Brasileira (FAB), é verificado que, no ano subsequente ao da formação na Academia da Força Aérea (AFA), todos os pilotos são encaminhados para uma das três UAE de instrução sediadas na BANT, com a finalidade de realizarem os respectivos Cursos de Especialização Operacional (CEO) no Primeiro Esquadrão do Quinto Grupo de Aviação (1º/5º GAV), no Segundo Esquadrão do Quinto Grupo de Aviação (2º/5º GAV) ou no Primeiro Esquadrão do Décimo Primeiro Grupo de Aviação (1º/11º GAV).

Esse processo de capacitação possui duração aproximada de dez meses, resultando na especialização dos oficiais na aviação de caça, de asas rotativas, de transporte ou de patrulha. Durante o processo, o instruído é submetido a um programa de aperfeiçoamento de competências profissionais que lhe permite empregar militarmente os meios aeroespaciais e, conseqüentemente, cumprir as ações de competência da FAB.

Ao considerar as características do poder aeroespacial contidas na Doutrina Básica da Força Aérea (DCA 1-1), facilmente se percebe a relevância dos custos dos meios aeroespaciais em função do alto valor investido na implantação e na manutenção de aeronaves, bem como do tempo e dos esforços despendidos na formação dos recursos humanos, devendo esses meios serem utilizados com maior segurança possível, fins de preservá-los (Brasil, 2020).

Nesse contexto, torna-se mister ressaltar a importância estratégica para a FAB do CEO, realizado nas UAE de instrução da BANT, devido ao elevado investimento de recursos materiais e humanos no processo e à relevância deste, como base para o pleno desenvolvimento das competências profissionais necessárias aos pilotos de combate da Força. Desse modo, a análise do ambiente aeroespacial em que são realizadas as instruções aéreas torna-se crucial, em função de sua forte contribuição para o êxito do processo de capacitação profissional.

Sobre o cenário aeroespacial, compartilhado pelas UAE de instrução, cabe enaltecer que cada Unidade executa um Projeto de Atividades Operacionais (PAOP) próprio, formado por várias missões com regras de voo específicas, contendo perfis de voo e manobras heterogêneas, bem como utilizando aeronaves com performances distintas. Essas características, aliadas à

baixa experiência dos pilotos em formação, impactam sobremaneira o nível de complexidade da operação aérea desenvolvida.

Nesse diapasão, destaca-se que a maioria das missões as quais compõem o PAOP de cada UAE ocorrem nos espaços aéreos denominados como Zona de Controle de Natal (CTR Natal) e Área de Controle de Terminal de Natal (TMA Natal). A CTR Natal possui lateralmente um raio de 20 milhas náuticas a partir de um fixo aeronáutico, denominado VOR Natal, que se encontra localizado no aeródromo da BANT, abrangendo verticalmente desde o solo até 3.500 pés de altitude, inclusive. Por sua vez, a TMA Natal é concêntrica à CTR Natal e tem um raio variável de 40 a 60 milhas náuticas. Verticalmente, a TMA Natal abrange altitudes de 3.500 pés, exclusive, até 19.500 pés, inclusive. (Brasil, 2022).

Além disso, torna-se imperioso pontuar que os espaços aéreos da CTR Natal e da TMA Natal são classificados como classe C. Nesse tipo de espaço aéreo, a responsabilidade de separação entre aeronaves voando sob Regra de Voo Visual (VFR) é dos pilotos, cabendo aos órgãos de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) a prestação do serviço de informação de tráfego aéreo (DECEA, 2020). Ou seja, cabe ao controlador de tráfego aéreo apenas informar a presença de aeronaves no setor, devendo o piloto em comando identificar visualmente a posição de outros tráfegos e realizar manobras, fins de evitar reduções drásticas de separação entre aeronaves e, conseqüentes, colisões em voo.

Destaca-se, ainda, a presença de um considerável número de voos de instrução civil, voos comerciais, privados e executivos nas áreas da CTR Natal e da TMA Natal, tornando o serviço de controle de tráfego aéreo essencial ao ordenamento, à fluidez e, principalmente, à segurança das aeronaves em evolução no setor. Todavia, em alguns voos, principalmente nos realizados à baixa altura, ocorre a perda da visualização radar das aeronaves, em função das limitações do sistema de vigilância empregado, degradando a qualidade do serviço de controle de tráfego aéreo prestado e, conseqüentemente, contribuindo para o aumento dos riscos inerentes ao desenvolvimento da atividade aérea.

Dessa maneira, com o intuito de mitigar condições desfavoráveis à segurança, decorrentes das limitações do sistema de vigilância radar empregado, considera-se a implantação de uma nova tecnologia de vigilância aeronáutica, denominada como Vigilância Automática Dependente por Radiodifusão (ADS-B), na operação das UAE de instrução da BANT, alterando-a significativamente. Esse sistema permite o monitoramento das aeronaves, via satélite, e o compartilhamento de dados entre aeronaves e órgãos de controle, podendo auferir vantagens à Força ao elevar os níveis de segurança da atividade aérea.

Dessa forma, a implantação da tecnologia ADS-B nas áreas da CTR Natal e da TMA Natal, proposta no presente trabalho, possui um efeito estratégico, pois objetiva alcançar uma mudança significativa e duradoura na operação das UAE de instrução da BANT, atuando diretamente na trilha de capacitação dos oficiais aviadores da FAB.

Diante ao exposto, foi formulado o problema de pesquisa a seguir: quais os impactos da implantação da tecnologia ADS-B na segurança de voo das UAE de instrução da BANT?

Com vista a responder o problema de pesquisa, de acordo com o CENIPA (2012), faz-se necessário compreender que, quando se trata de aviação, não existe uma condição de segurança absoluta, ficando a cargo de cada instituição a implementação de ações preventivas as quais eliminem ou mitiguem ao máximo nível possível os riscos inerentes à operação. Com isso, a prevenção de acidentes aeronáuticos deve ser realizada por meio de um processo contínuo de identificação de riscos, análise de causas, implementação de medidas preventivas e monitoramento de resultados, devendo as ações de prevenção abrangerem aspectos como aperfeiçoamento da tecnologia, regramento e capacitação de profissionais da aviação.

Dessa forma, a análise das funcionalidades disponibilizadas pela tecnologia ADS-B permitirá qualificar os impactos da implantação dessa tecnologia na segurança da atividade aérea desenvolvida pelas UAE de instrução da BANT.

Dito isso, supõe-se que a implantação do ADS-B auferirá alguns ganhos significativos à segurança de voo, como o aprimoramento da comunicação aeronáutica e do trabalho em equipe dos pilotos, o aumento da consciência situacional dos pilotos e o aperfeiçoamento do processo de tomada de decisão deles.

Nesse contexto, percebe-se que o objetivo geral do referido trabalho consiste em analisar os impactos da implantação da tecnologia ADS-B na segurança de voo das UAE de instrução da BANT.

Com o intuito de atingir o objetivo descrito acima, o referido estudo possui os seguintes objetivos específicos:

- a) Analisar o impacto da implantação do sistema ADS-B na comunicação aeronáutica ocorrida durante a operação das UAE de instrução da BANT;
- b) Analisar o impacto da implantação do sistema ADS-B na dinâmica de trabalho em equipe dos pilotos das UAE de instrução da BANT;
- c) Analisar o impacto da implantação do sistema ADS-B no nível de consciência situacional dos pilotos das UAE de instrução da BANT; e
- d) Analisar o impacto da implantação do sistema ADS-B no processo decisório dos pilotos das UAE de instrução da BANT.

A relevância desse trabalho reside na análise dos impactos da implantação da tecnologia ADS-B na segurança das atividades aéreas conduzidas pelas UAE de instrução da BANT, assim como na segurança da navegação aérea nas áreas da CTR Natal e da TMA Natal, resultando na preservação dos meios aeroespaciais da FAB. É importante destacar que a referida implementação acarretará mudanças duradouras e substanciais à doutrina operacional atual, posicionando o trabalho na linha de pesquisa do poder aeroespacial, e ao núcleo temático relacionado à doutrina de emprego do poder aeroespacial. Isso se deve ao potencial do sistema em ser um fator multiplicador e decisivo para o poder aeroespacial, além de contribuir para a maximização da eficácia, eficiência e efetividade das capacidades aeroespaciais da Força Aérea Brasileira (FAB).

## 2 METODOLOGIA

Seguindo os conceitos propostos por Gil (2022), foi utilizada uma pesquisa classificada, quanto ao objetivo, como aplicada, pois visou solucionar os problemas decorrentes das limitações do atual modelo de vigilância aeronáutica utilizado na CTR Natal e na TMA Natal, afetando a operação das UAE de instrução da BANT. Nesse sentido, propõe-se a implantação da tecnologia ADS-B, considerando os impactos das funcionalidades ofertadas pelo sistema na segurança da atividade aérea desenvolvida pelas UAE em destaque.

Com isso, tornou-se necessário inicialmente esmiuçar as características da referida tecnologia, caracterizando a pesquisa, quanto à finalidade, como descritiva.

No que diz respeito à abordagem, a pesquisa classifica-se como qualitativa, ao utilizar-se da análise de dados conceituais, normas e princípios coletados, não sendo necessário o uso de ferramentas e técnicas estatísticas para análise e definição de resultados.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram consultadas as diretrizes e normas de instituições internacionais renomadas, como a *Federal Aviation Administration* (FAA), a *International Civil Aviation Organization* (ICAO), a *Civil Aviation Safety Authority* (CASA) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), que se caracterizam por desempenhar papéis fundamentais na promoção da segurança, eficiência e sustentabilidade da aviação mundial. Essa abordagem permitiu uma compreensão aprofundada das funcionalidades fornecidas pela tecnologia ADS-B.

Além disso, foram consideradas as definições e conceitos de teóricos reconhecidos internacionalmente na área de segurança de voo, com o objetivo de melhor compreender os fatores que contribuem para a operação aérea segura. Entre os teóricos destacados estão James

Reason, Robert Helmreich e Mica Endsley. A análise dos conceitos defendidos por esses especialistas enriqueceu o estudo ao fornecer perspectivas valiosas sobre a segurança na aviação.

Este estudo tomou como partida uma revisão bibliográfica com análise dos principais autores e obras que tratam da implantação da tecnologia ADS-B e de seus impactos na segurança de voo. Ademais, a pesquisa classifica-se, quanto aos procedimentos, como documental, pois careceu de um estudo aprofundado sobre as normas técnicas e regulamentos afetos à tecnologia em destaque.

Ressalta-se que a implantação da tecnologia ADS-B em aeronaves da FAB não é inédita, tendo ocorrido em alguns projetos da Força. Inclusive ocorreu recentemente no processo de modernização das aeronaves T-27M, utilizadas pelo Primeiro Esquadrão de Instrução Aérea (1º EIA), sediado na AFA. Entretanto o referido processo de implantação foi parcial, pois não contemplou a implantação da tecnologia no sistema de controle do espaço aéreo da Terminal Academia (TMA Academia), limitando os benefícios ofertados pelo ADS-B.

Outrossim, destaca-se a existência de um projeto estratégico da FAB, sob a gerência do DECEA, concernente à implantação do ADS-B em todo espaço aéreo continental nacional. Com isso, em um futuro próximo, o Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) adquirirá a capacidade de fazer uso das funcionalidades disponibilizadas pelo ADS-B.

Dessa maneira, com o objetivo de obter informações mais precisas sobre o tema, optou-se por entrevistar especialistas da Força que participaram ativamente do processo de implantação do ADS-B na AFA e no SISCEAB. Portanto, a pesquisa classifica-se também como uma pesquisa de levantamento, uma vez que foram realizadas entrevistas com o Major Aviador Guilherme Gonçalves Herculian, Comandante do 1º EIA da AFA, durante a implementação da tecnologia ADS-B nas aeronaves T-27M, e com o Tenente Coronel Especialista em Comunicações José Izidro Apolinário, gerente do projeto do DECEA relacionado à melhoria da vigilância do espaço aéreo nacional.

Embora este estudo tenha proporcionado resultados valiosos, é importante reconhecer suas limitações devido à escassez de especialistas disponíveis para consulta sobre o tema investigado. A disponibilidade limitada de especialistas restringiu a obtenção de opiniões diversificadas e aprofundadas para enriquecer ainda mais as análises. Além disso, devido a restrições de tempo e prazos apertados, o processo de coleta de dados e análise foi realizado em um período relativamente curto. Essas restrições temporais podem ter impactado a profundidade e a amplitude das investigações conduzidas neste estudo. Diante dessas

limitações, é recomendado que futuras pesquisas busquem ampliar a participação de especialistas e estabeleçam um cronograma mais flexível para permitir uma análise mais abrangente e aprofundada do tema em questão.

Para superar as limitações existentes, o processo de seleção dos especialistas entrevistados foi realizado de forma criteriosa. Os escolhidos para as entrevistas foram selecionados cuidadosamente com base em suas competências profissionais, com o objetivo de garantir a qualidade e relevância dos dados obtidos para a pesquisa.

Nesse contexto, destaca-se a notável trajetória profissional do Major Herculian, que possui mais de 7 anos de experiência como instrutor na AFA, acumulando mais de 1.200 horas de voo de instrução no 1º EIA. Além disso, o referido entrevistado desempenhou importantes cargos naquela Organização Militar (OM), atuando como chefe da seção de formação de instrutores, chefe da seção de doutrina, chefe do esquadrão de treinamento simulado, chefe da seção de operações do 1º EIA e Comandante do 1º EIA. Essa vasta experiência e responsabilidades assumidas qualificaram o Major Herculian como um especialista de grande destaque para o referido trabalho.

Ainda sobre esse aspecto, destaca-se a ampla experiência profissional do Tenente Coronel Izidro, oficial especialista do quadro de comunicações. O referido oficial é graduado em engenharia elétrica com ênfase em eletrônica pela Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ) e acumula mais de 14 anos de atuação no Subdepartamento Técnico (SDTE) do DECEA, ocupando cargos relevantes, incluindo a chefia da subdivisão de delineamento técnico e a chefia da divisão de suporte à navegação. Além disso, o Tenente Coronel Izidro é membro do painel de vigilância da ICAO desde 2019 e tem participado ativamente de diversas reuniões e conferências internacionais sobre sistemas de vigilância aeronáutica. Essa vasta experiência e conhecimento consolidaram sua posição como um profissional de referência nessa área.

Ao fim, foi realizado o cruzamento dos dados obtidos por meio das entrevistas com as informações colhidas nos estudos de normas técnicas e regulamentos concernentes ao uso da tecnologia ADS-B, possibilitando checar os possíveis impactos na segurança de voo das UAE de instrução da BANT a serem gerados em função da implantação da tecnologia ADS-B.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

Segundo Wiener e Nagel (1989), a aviação é uma atividade altamente complexa, que envolve a interação de uma grande variedade de fatores que agem de maneira interdependente e imprevisível, como as tecnologias utilizadas, os indivíduos envolvidos e as diversas condições

em que as operações são realizadas. Essa elevada complexidade pode contribuir para o aumento do risco de acidentes aéreos, que ocorrem devido a uma série de fatores como erro humano, falhas materiais e condições de voo desfavoráveis.

Quanto aos fatores que contribuem para a complexidade do espaço aéreo, de acordo com Mogford (1995), destacam-se a densidade de tráfego, as variações climáticas, a geografia e topografia da região, a variedade de tipos de aeronaves, bem como os requisitos específicos de gerenciamento de tráfego aéreo utilizados.

Dentre esses fatores, no que concerne às áreas da CTR Natal e da TMA Natal, cabe frisar a presença de picos de densidade de tráfego, de amplo espectro de aeronaves em evolução simultânea e de regras específicas de tráfego aéreo, previstas em Cartas de Acordos Operacionais (CAOP) firmadas entre as UAE e os órgãos ATC locais. Dessa maneira, evidencia-se o alto nível de complexidade da circulação aérea nas áreas em referência.

Adicionalmente, torna-se importante ressaltar dois aspectos que contribuem significativamente para a elevação da complexidade do ambiente de instrução das UAE da BANT. O primeiro é a baixa experiência dos alunos, os quais estão em estágios iniciais de formação como pilotos militares. Isso significa que estão em processo de desenvolvimento de habilidades essenciais para o emprego militar eficaz das plataformas aéreas da Força. O segundo aspecto relaciona-se à grande heterogeneidade de manobras e perfis de voos presentes na instrução militar, abrangendo desde procedimentos básicos até exercícios mais complexos, que se modificam completamente a cada fase de instrução prevista nos respectivos PAOP.

Essa combinação de baixa experiência dos alunos e a diversidade de manobras e perfis de voo torna o ambiente de instrução aérea militar altamente complexo, uma vez que os alunos precisam adquirir rapidamente conhecimentos teóricos e práticos, tomar decisões céleres e precisas, e se adaptar a diferentes demandas e especificidades operacionais. Assim, diante da evidente complexidade do cenário aeronáutico em destaque, torna-se premente apresentar o conceito de James Reason (1997):

"Em ambientes complexos, os operadores precisam gerenciar grandes quantidades de informações e coordenar várias tarefas simultaneamente. Isso exige elevado grau de atenção dividida, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva. Quando a carga cognitiva excede a capacidade dos operadores, a performance pode sofrer e os erros podem ocorrer." (James Reason, 1997, p. 98 – tradução nossa).

Com isso, percebe-se a necessidade de os pilotos processarem grandes quantidades de informações e realizarem várias tarefas simultaneamente, o que exige um alto nível de atenção compartilhada, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva. Segundo Reason (1997), se a carga cognitiva necessária em ambientes complexos exceder a capacidade de processamento da

mente humana, pode ocorrer uma tendência de adoção de estratégias simplificadas para gerenciar a tarefa. Essas estratégias simplificadas podem ser eficazes em circunstâncias normais, mas se tornam mais propensas a erros quando as condições se degradam, podendo gerar acidentes.

Como visto, percebe-se que a eficácia da atividade aérea depende de muitos fatores. Conquanto, devido aos riscos inerentes, torna-se necessário que a operação aérea seja primordialmente segura fins de obtenção do êxito, pois qualquer acidente pode resultar em danos significativos para os indivíduos e às organizações em que a atividade aérea se encontra inserida. Portanto, a eficácia da atividade aérea está diretamente relacionada à necessidade de segurança. Nesse ínterim, destaca-se a abordagem sobre segurança de voo, apresentada por Helmreich (2010):

"... há quatro habilidades críticas que os pilotos precisam ter para operar com segurança em ambientes complexos e de alto estresse: (1) consciência situacional, ou a habilidade de perceber e compreender o que está acontecendo no ambiente; (2) tomada de decisão, ou a habilidade de escolher uma ação apropriada dada a situação atual; (3) comunicação, ou a habilidade de trocar informações efetivamente com os outros; e (4) trabalho em equipe, ou a habilidade de coordenar ações com os outros para alcançar um objetivo comum. Essas habilidades são inter-relacionadas e cada uma desempenha um papel crucial em garantir operações de voo seguras e eficientes" (Helmreich, 2010, p. 5 – tradução nossa).

Dessa forma, torna-se possível elencar as capacidades críticas para a segurança de voo, ou seja, as habilidades que mais influenciam na condução segura da atividade aérea, em que se destacam a comunicação, o trabalho em equipe, o processo decisório e a consciência situacional.

Ainda sobre o tema, analisando os conceitos de Anca, Helmreich e Kanki (2010), percebe-se que não por acaso as habilidades críticas mencionadas anteriormente formam a base do *Crew Resource Management* (CRM), um programa de treinamento reconhecido globalmente por seus benefícios para a segurança e eficiência das operações aéreas. Como resultado, o CRM conquistou um prestígio incontestável na indústria da aviação mundial, sendo amplamente adotado pela aviação civil e militar e, inclusive, altamente praticado pelos tripulantes da FAB.

Portanto, é fundamental que sistemas sejam projetados e implementados para reduzir a carga cognitiva dos pilotos e fornecer suporte cognitivo, auxiliando-os a desempenhar as habilidades críticas à segurança de voo, mesmo em situações de alta pressão. Além disso, é essencial que os pilotos recebam treinamento adequado e que as organizações implementem procedimentos e políticas para promover uma cultura de segurança e de prevenção de erros.

Nesse viés, torna-se oportuno apresentar a tecnologia de Vigilância Automática Dependente por Radiodifusão que, segundo a FAA (2017), tem como objetivo permitir a gestão

do tráfego aéreo, por meio de um sistema de localização de aeronaves derivado de satélites em vez de um sistema baseado em radar, criando uma interface de vigilância mais precisa entre aeronaves e os órgãos ATC, sendo um sistema de vigilância avançado com aplicações ar-ar, ar-terra e terra-terra.

Dessa maneira, a tecnologia ADS-B é um sistema de vigilância de tráfego aéreo que utiliza tecnologia de veiculação de dados via rádio para transmitir informações precisas para outras aeronaves equipadas, para estações de solo e controladores de tráfego aéreo, permitindo uma melhor otimização do uso do espaço aéreo.

Com isso, ao se analisarem os benefícios disponibilizados pela tecnologia ADS-B, de acordo com a ICAO (2016), verifica-se uma melhor capacidade de utilização do espaço aéreo, tornando o intercâmbio de informações de tráfego entre aeronaves e entre essas e os órgãos ATC mais preciso e eficiente, além de possibilitar a transmissão de informações mais refinadas para os pilotos.

Em um primeiro momento, percebe-se que o uso da tecnologia ADS-B permite maior fluxo de informações aeronáuticas com grande versatilidade de aplicações, possibilitando relacionar diretamente as funcionalidades disponibilizadas pela tecnologia com a comunicação aeronáutica. Dessa forma, torna-se mister apresentar a abrangência e a relevância da comunicação aeronáutica, segundo Helmereich (2010):

"A habilidade de comunicação inclui a capacidade de transmitir informações precisas e completas, receber informações com precisão e interpretar corretamente as mensagens transmitidas. A comunicação eficaz é crítica em situações de alto risco, onde as informações devem ser compartilhadas rapidamente e de maneira clara e concisa" (Helmereich, 2010, p. 85 – tradução nossa).

Assim, destaca-se a importância da habilidade de comunicação em situações de alto risco, como no caso da aviação, em que a troca de informações entre sistemas e indivíduos envolvidos é fundamental para garantir êxito aos voos. A habilidade de comunicar-se de maneira precisa e clara é essencial para transmitir e receber informações de forma eficaz, evitando erros e falhas de entendimento que podem prejudicar a segurança em ambientes complexos e de alto risco.

Segundo Reason (1990), a comunicação é essencial para a coordenação das atividades em um ambiente de alta complexidade, como o espaço aéreo. A falta de comunicação adequada pode levar a mal-entendidos, erros e, conseqüentemente, a acidentes. A comunicação deve ser clara, precisa e consistente e deve ocorrer entre todos os membros da equipe, incluindo pilotos, tripulantes, controladores de tráfego aéreo, mecânicos e outros. Dessa maneira, percebe-se a forte influência da comunicação no desempenho do trabalho em equipe.

No que concerne ao trabalho em equipe, cabe frisar sua importância, conforme defendido por Salas, Rosen e King (2008):

"O trabalho em equipe na aviação é fundamental para garantir a segurança e a eficácia das operações aéreas. A cooperação, coordenação e comunicação efetivas entre os membros da equipe são essenciais para lidar com a complexidade e os desafios que surgem durante os voos. Uma equipe bem treinada e coesa pode melhorar a tomada de decisões, antecipar e mitigar erros, promover a resolução de problemas em tempo real e maximizar o desempenho global da tripulação" (Salas, Rosen e King 2008, p. 176 – tradução nossa).

Dessa forma, segundo os autores, a cooperação, coordenação e comunicação efetivas entre os membros da equipe são essenciais para lidar com a complexidade e os desafios das operações aéreas. Uma equipe bem treinada e coesa tem o potencial de melhorar a tomada de decisões, antecipar e mitigar erros, resolver problemas em tempo real e maximizar a eficácia, a eficiência e a efetividade da atividade aérea. Através dessas práticas de trabalho em equipe, é possível promover a segurança de voo, reduzindo riscos e potencializando os resultados.

Levando-se em consideração a capacidade ofertada pela tecnologia ADS-B de aprimorar a precisão e a periodicidade do fluxo de informações, permitindo o compartilhamento de dados de localização e projeção de tráfegos entre aeronaves, entre órgãos ATC e entre aeronaves e órgãos ATC, logo percebe-se a relação dessa funcionalidade com a consciência situacional inerente à atividade aérea.

A definição de consciência situacional apresentada por Endsley (1988), como sendo o nível de percepção que um piloto ou tripulação tem em relação aos fatores que afetam o voo da aeronave, é composta por três elementos: percepção da situação, compreensão da situação e projeção da situação. A percepção da situação envolve a identificação dos fatores relevantes que afetam a aeronave, enquanto a compreensão da situação relaciona-se à capacidade de interpretar e integrar esses fatores para formar uma imagem precisa da situação atual. Por fim, a projeção da situação refere-se à capacidade de antecipar futuros desenvolvimentos e prever como eles podem afetar a condição de voo da aeronave.

Com isso, verifica-se que a comunicação, o trabalho em equipe e a consciência situacional possuem grande influência na tomada de decisão realizada pelos indivíduos envolvidos na atividade aérea, pois a existência de um modelo de comunicação eficaz, de boa cooperação e coordenação entre os tripulantes, aliado a uma elevada consciência situacional, tende a contribuir para escolhas acertadas na condução eficaz do voo.

Por fim, percebe-se que a segurança da atividade aérea requer atenção em diversos aspectos, incluindo o aperfeiçoamento das habilidades críticas dos indivíduos envolvidos. Com isso, a tecnologia ADS-B, ao oferecer funcionalidades que facilitam e aprimoram a execução

dessas habilidades, pode contribuir significativamente para a segurança de voo. Sendo assim, uma análise ampla e detalhada das funcionalidades ofertadas por essa tecnologia e seus desdobramentos, na operação das UAE de instrução da BANT, auxiliará significativamente no dimensionamento dos impactos do ADS-B na segurança da atividade aérea desenvolvida, colaborando para o aprimoramento do processo de capacitação dos aviadores da Força Aérea Brasileira.

## **4 APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS**

### **4.1 Características do Sistema ADS-B**

Segundo Olaganathan (2018), o sistema ADS-B é a tecnologia de vigilância mais avançada na indústria da aviação, sendo um sistema automatizado que transmite informações essenciais sem a necessidade de intervenção manual do piloto ou do controle de tráfego aéreo. Entretanto o sistema é considerado dependente devido ao fato de seu funcionamento estar condicionado ao funcionamento do *Global Positioning System* (GPS) e dos sistemas de navegação da aeronave. Dessa forma, utilizando dados provenientes dessas fontes, o ADS-B possibilita a vigilância precisa da posição e intenções da aeronave, fornecendo informações essenciais ao gerenciamento de tráfego aéreo.

Nesse contexto, segundo a FAA (2017), o ADS-B objetiva transformar o controle do tráfego aéreo colaborativo, migrando de um sistema baseado em radar para um sistema que utiliza a localização de aeronaves derivada de satélites. Essa mudança proporciona uma interface de vigilância mais precisa entre a aeronave e os órgãos ATC, aproveitando a combinação de tecnologias de posicionamento, equipamentos aviônicos e infraestrutura terrestre.

Considerando-se a entrevista realizada com o Tenente Coronel Izidro (apêndice A), torna-se relevante destacar que o sistema ADS-B é reconhecido como um sistema de vigilância colaborativo, compartilhando semelhanças, nesse aspecto, com os radares secundários que utilizam transponders para aprimorar a precisão das informações de identificação, posição, altitude e velocidade transmitidas aos órgãos ATC. No entanto existem diferenças significativas entre esses sistemas de vigilância.

O radar secundário, em sua essência, utiliza um sistema complexo de emissão, recepção e processamento de pulsos eletromagnéticos, o que permite a atualização das informações entre 4 e 12 segundos, dependendo do tipo de radar utilizado, seja ele radar de terminal ou radar de

rota. Por outro lado, o sistema ADS-B dispensa a necessidade de emissão eletromagnética a partir do solo, recebendo as informações diretamente da aeronave por meio do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), o que possibilita uma taxa de atualização de até duas vezes por segundo, proporcionando uma frequência de atualização maior e, conseqüentemente, dados precisos em tempo real.

Ainda conforme o entrevistado (apêndice A), faz-se necessário abordar uma comparação importante, relacionada aos sistemas de vigilância acima descritos, concernente à capacidade de alcance e detecção de alvos, na qual o ADS-B supera o sistema de vigilância radar. Essa diferença ocorre devido às ondas eletromagnéticas utilizadas pelo ADS-B, que possuem maior amplitude e permitem melhor contorno de obstáculos, resultando em cobertura mais ampla e eficaz em áreas extensas, mesmo em cenários com obstáculos físicos, como montanhas ou prédios, os quais podem bloquear o sinal do radar convencional.

Outra comparação relevante abordada (apêndice A) refere-se ao tamanho da infraestrutura de suporte necessária para a operação dos respectivos sistemas. Ao considerar o radar, sua operação depende do funcionamento de estações terrestres com antenas e equipamentos de processamento de sinais, além de uma rede de comunicação para transmitir os dados coletados. Essa infraestrutura complexa demanda uma manutenção mais frequente e dispendiosa para garantir sua operacionalidade contínua. Em contraste, o sistema ADS-B depende principalmente de equipamento embarcado na aeronave, que transmite as informações diretamente para receptores no solo ou para outras aeronaves equipadas com ADS-B. Essa abordagem simplificada reduz a necessidade de uma infraestrutura terrestre robusta, resultando em custos mais baixos e numa maior confiabilidade do sistema.

Outra característica discutida (apêndice A) diz respeito aos riscos à segurança das operações aéreas relacionados ao funcionamento do ADS-B. Nesse aspecto, destaca-se a preocupação com a possibilidade de ausência de informações sobre o tráfego aéreo ou a presença de informações falsas veiculadas pelo sistema. Nesse ínterim, salienta-se que o ADS-B é projetado com um mecanismo de filtragem altamente eficiente, que elimina a possibilidade de falta de informações ou a propagação de dados incorretos. Esse recurso contribui para a confiabilidade e a segurança do sistema.

Vale ressaltar que a tecnologia ADS-B depende do funcionamento adequado do sistema GPS, uma vez que utiliza os sinais de posicionamento fornecidos pelos satélites para determinar a localização, velocidade e altitude das aeronaves. No entanto o sistema GPS é amplamente reconhecido por sua robustez e confiabilidade, em grande parte devido às redundâncias de

componentes que asseguram uma baixa probabilidade de indisponibilidade. Isso reduz significativamente os riscos relacionados à dependência do ADS-B em relação ao GPS.

Por fim, vale enaltecer que a natureza colaborativa do sistema ADS-B faculta ao operador da aeronave a possibilidade de não compartilhar seus dados de voo. Essa opção é extremamente relevante para as aeronaves militares, uma vez que permite ao operador militar preservar a característica de surpresa do poder aéreo, salvaguardando a possibilidade de emprego dos meios aeroespaciais das UAE de instrução da BANT em situações que exijam maior discricção.

## **4.2 Influência do Sistema ADS-B na Comunicação Aeronáutica**

Em consonância com os objetivos específicos outrora apresentados, inicialmente será abordado o objetivo específico A, referente à influência da tecnologia ADS-B na comunicação aeronáutica. Com isso, verifica-se a importância do detalhamento do processo de troca de informações nas aplicações ar-ar, ar-solo e solo-solo, permitidos pelo sistema. Para tal, torna-se imprescindível descrever os principais componentes da referida tecnologia.

De acordo com a *Civil Aviation Safety Authority* (CASA, 2012), o ADS-B é composto por uma série de componentes terrestres e aéreos. Os componentes terrestres desempenham um papel fundamental na recepção e transmissão de mensagens provenientes das aeronaves. Isso envolve a utilização de antenas, receptor ADS-B, display situacional e link de comunicação confiável.

Por outro lado, os componentes aéreos são responsáveis por coletar e transmitir informações precisas de posição, velocidade e altitude das aeronaves. Isso é possível graças ao uso de equipamentos como GPS, aviônica ADS-B avançada, painel de controle, altímetro e transponder. Esses componentes aéreos trabalham em conjunto para garantir a captura precisa dos dados de voo da aeronave.

Com isso, o ADS-B é composto por dois subsistemas: ADS-B IN e ADS-B OUT. O ADS-B IN permite que as aeronaves recebam informações de outras aeronaves, bem como informações relacionadas à rota de voo, ao tráfego aéreo, às condições de aeródromos e às condições meteorológicas. Por sua vez, o ADS-B OUT é responsável por transmitir as informações de identificação, posição, velocidade e altitude da aeronave para as estações terrestres e outras aeronaves que estejam equipadas com ADS-B IN.

Essas funções são viabilizadas através do uso de antenas específicas para cada função, garantindo a transmissão e recepção confiáveis dos dados do sistema ADS-B. Em conjunto, os

componentes terrestres e aéreos do ADS-B formam um sistema integrado que permite uma eficiente trafegabilidade de informações, fornecendo aos controladores de tráfego aéreo e às aeronaves uma visão holística e atualizada do ambiente operacional.

No que se refere à transmissão de informações por meio do ADS-B, segundo o Tenente Coronel Izidro (apêndice A), destaca-se que o sistema permite a tramitação de até 112 bits de dados, o que possibilita a prestação de serviços de informações essenciais à segurança de voo como informações de rota e de aeródromo, informações meteorológicas e informações sobre o tráfego aéreo.

A disponibilidade de informações de tráfego é de extrema importância para a segurança de voo, pois permite que os pilotos estejam cientes da presença de aeronaves próximas seguindo rotas potencialmente conflitantes. Conforme apontado pelo DECEA (2020), em espaços aéreos classificados em classe C, como é o caso das áreas da TMA Academia e da TMA Natal, a responsabilidade pela transmissão das informações de tráfego recai sobre os órgãos ATC com jurisdição no setor.

No entanto a falha ou ausência de veiculação dessas informações pode causar sérios prejuízos à segurança de voo, pois pode comprometer a capacidade dos pilotos de observarem e evitarem colisões em voo. Essa situação ressalta a vulnerabilidade da segurança das operações aéreas quando a comunicação entre os órgãos ATC e os pilotos não é eficaz e precisa. Portanto, é essencial garantir uma comunicação eficiente e confiável para salvaguardar a segurança das operações aéreas.

Um exemplo que ilustra a vulnerabilidade da segurança de voo, devido à falha na comunicação de informações de tráfego, ocorreu na CTR Natal em 14 de junho de 2022, envolvendo quatro aeronaves A-29 em voo VFR noturno. Nessa situação, de acordo com Sistema de Informações Gerenciais do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo (SIGCEA), as aeronaves cruzaram suas trajetórias a uma distância de 0,5 milha náutica e a uma diferença de altitude de 200 pés.

Essa ocorrência destaca a necessidade de implementar medidas de segurança que possam mitigar erros ou falhas na comunicação. Nesse sentido, o investimento em tecnologias como o ADS-B é uma ferramenta valiosa para alcançar esse objetivo.

A entrevista realizada com o Major Herculian (apêndice B) destaca as vantagens proporcionadas pelo ADS-B na comunicação entre aeronaves, através da disponibilidade de informações precisas e concisas, como código de chamada, velocidade, posição e altitude dos tráfegos relevantes. Isso resulta na redução da necessidade de comunicações verbais extensas e minimiza a possibilidade de erros de interpretação. Tais informações têm facilitado

sobremaneira coordenações complexas, especialmente em situações de alto volume de tráfego, como o retorno de múltiplas aeronaves de instrução que tiveram seus retornos represados por fatores como indisponibilidade da pista em uso ou por condições meteorológicas adversas.

Dessa forma, o ADS-B não apenas fornece informações cruciais sobre o tráfego aéreo, capacitando os pilotos a serem agentes proativos na prevenção de colisões e no gerenciamento do espaço aéreo compartilhado, mas também oferece capacidades aprimoradas de comunicação. Essas capacidades, incluindo precisão, concisão e acesso a informações relevantes, desempenham um papel fundamental na melhoria da eficiência e da segurança das operações aéreas, permitindo uma coordenação precisa mesmo em cenários desafiadores e de elevada complexidade.

Nesse diapasão, percebe-se que a implantação da tecnologia ADS-B na operação das UAE de instrução da BANT oferece vantagens significativas para a segurança de voo, uma vez que o sistema permite uma trafegabilidade de informações aeronáuticas mais precisa e eficiente, mitigando consideravelmente erros de interpretação. Além disso, a disponibilidade em tempo real de informações de tráfego, meteorológicas, informações de aeródromo e de rota facilita a coordenação e a adaptação dos pilotos em situações de elevada complexidade, especialmente quando há alto volume de tráfego ou condições adversas, contribuindo para o estabelecimento de um ambiente mais propício ao aprendizado dos pilotos em formação.

### **4.3 Influência do Sistema ADS-B no Trabalho em Equipe**

No que diz respeito ao objetivo específico B deste trabalho, referente à análise do impacto do ADS-B na dinâmica de trabalho em equipe, é fundamental compreender como essa tecnologia influencia na colaboração e na coordenação entre os membros da tripulação. O ADS-B, ao fornecer informações precisas e atualizadas sobre o cenário aeronáutico, permite que os pilotos compartilhem de maneira mais eficiente e eficaz a percepção situacional, facilitando a tomada de decisões conjuntas e ações coordenadas.

Ao analisar a dinâmica de uso da tecnologia ADS-B adotada pela AFA, de acordo com o Major Herculian (apêndice B), percebe-se que durante as fases iniciais da instrução aérea, o programa de instrução do 1º EIA limita o acesso às funções do ADS-B por parte dos alunos. Essa abordagem visa proporcionar aos alunos a oportunidade de desenvolver habilidades essenciais, como receber informações de radiais e distâncias, interpretá-las, realizar buscas visuais e tomar decisões para evitar conflitos.

Conforme o curso avança e o aluno adquire maior experiência, é permitido o uso do sistema ADS-B, possibilitando uma interação direta entre o aluno e o instrutor com base no sistema. Nesse ponto, a tripulação passa a tomar decisões em conjunto, aproveitando as informações fornecidas pela tecnologia para realizar ações coordenadas e seguras. Segundo o entrevistado (apêndice B), a disponibilidade de informações em tempo real sobre a posição, velocidade e altitude das aeronaves próximas promove uma consciência coletiva mais precisa do ambiente operacional. Isso contribui para uma distribuição equilibrada das responsabilidades entre os membros da tripulação, incentivando a comunicação aberta, a troca de informações relevantes e a cooperação mútua para evitar conflitos e garantir a segurança das operações.

É importante ressaltar, ainda de acordo com o entrevistado (apêndice B), que a transição do aluno de não operar o sistema para operá-lo é fácil e rápida, devido à simplicidade na apresentação dos dados. Com isso, percebe-se que o sistema ADS-B é projetado de forma intuitiva, com uma interface clara e informações de fácil compreensão, o que facilita a assimilação por parte do aluno. Dessa forma, o aluno pode se familiarizar rapidamente com as funcionalidades do ADS-B e utilizá-lo como uma valiosa ferramenta na dinâmica de trabalho em equipe.

Ao fornecer uma visualização instantânea e compreensível do ambiente operacional, o ADS-B alivia a sobrecarga cognitiva dos pilotos, permitindo que se concentrem no monitoramento de sistemas, na comunicação com os órgãos ATC e na execução precisa de procedimentos operacionais. Essa simplificação das informações beneficia os alunos em processo de aprendizagem, permitindo que dediquem mais tempo e atenção às interações com os instrutores. Assim, os alunos absorvem conhecimentos e habilidades de forma mais eficaz, enquanto as informações sobre o cenário aeronáutico vigente são transmitidas de maneira clara e simplificada. Dessa maneira, o ADS-B facilita a interação entre instrutores e alunos, promovendo um ambiente de aprendizagem mais dinâmico e produtivo.

Dito isso, evidencia-se que a implementação do sistema ADS-B na operação das UAE de instrução da BANT apresenta a capacidade de agregar benefícios significativos para a dinâmica de trabalho em equipe dos pilotos, fortalecendo a colaboração, a coordenação e a consciência situacional compartilhada. Essa integração aprimora o desempenho tanto dos instrutores quanto dos alunos, permitindo que estes absorvam conhecimentos e habilidades de forma mais eficaz, enquanto aqueles possam se concentrar em fornecer orientações e suporte de maneira mais direcionada. Com a presença do ADS-B, o ambiente de aprendizagem se torna mais dinâmico, seguro e produtivo, criando condições mais favoráveis ao desenvolvimento dos pilotos de combate em formação.

#### 4.4 Influência do Sistema ADS-B na Consciência Situacional

De acordo com Endsley (1998), “a consciência situacional é definida como a habilidade de perceber, compreender e projetar elementos no ambiente dentro de um determinado espaço e período de tempo, levando em consideração seus significados e as consequências que podem surgir no futuro” (ENDSLEY, 1988, p.97 – tradução nossa). Dessa forma, a consciência situacional é composta por três níveis inter-relacionados: percepção, compreensão e projeção.

No que concerne ao objetivo específico C desta pesquisa, atinente ao impacto do ADS-B na consciência situacional, constata-se que a tecnologia ADS-B desempenha um papel fundamental no aumento da capacidade de perceber elementos relevantes, de compreender seus significados e de projetar suas consequências. Isso é possível principalmente devido às funcionalidades do ADS-B, denominadas como Sistema de Informação de Voo por Radiodifusão (FIS-B) e Sistema de Informação de Tráfego por Radiodifusão (TIS-B).

De acordo com as informações apresentadas pelo Tenente Coronel Izidro (apêndice A), destaca-se que tanto o FIS-B quanto o TIS-B desempenham papéis cruciais na percepção, na compreensão e na projeção do ambiente de voo por parte dos pilotos, fornecendo uma ampla gama de informações relevantes. Dessa forma, esses serviços são imprescindíveis para a manutenção da consciência situacional ao disponibilizar informações essenciais para o desempenho da atividade aérea.

Dentre os produtos proporcionados pelo FIS-B, destaca-se a disponibilização em tempo real de informações meteorológicas, como visibilidade, vento, temperatura, pressão atmosférica, padrões de nuvens e prognóstico de precipitação. Essas informações permitem que os pilotos estejam constantemente cientes das condições climáticas presentes, compreendam seus possíveis desdobramentos e adotem ações adequadas para garantir a segurança da atividade aérea.

Além disso, o FIS-B fornece informações aeronáuticas atualizadas, como procedimentos de aproximação em vigor, pistas em uso, obras em andamento, situação operacional de auxílios à navegação e condições de trafegabilidade em aeródromos. Esses dados são vitais para que os pilotos possam planejar suas operações e rotas com segurança, levando em consideração as condições aeronáuticas presentes.

A funcionalidade TIS-B, por sua vez, complementa a consciência situacional dos pilotos ao fornecer informações atualizadas sobre tráfegos próximos. Essa funcionalidade permite que os pilotos identifiquem a presença de outras aeronaves nas proximidades, obtenham

informações de posição, altitude, direção e velocidade e evitem incidentes e acidentes aeronáuticos.

Dessa maneira, o FIS-B e o TIS-B desempenham papéis complementares na melhoria da consciência situacional dos pilotos. O FIS-B fornece informações meteorológicas e aeronáuticas atualizadas, enquanto o TIS-B oferece dados sobre o cenário de tráfego aéreo. Combinados, esses recursos permitem que os pilotos tenham uma percepção, compreensão e projeção mais abrangente do ambiente de voo, permitindo a adoção de medidas eficientes, seguras e proativas.

Para destacar as capacidades adicionais de consciência situacional proporcionadas pelo ADS-B, é relevante mencionar o comentário do Major Herculian (apêndice B), em que foi enfatizado que os pilotos da AFA, graças ao ADS-B, possuem a capacidade de realizar coordenações para evitar conflitos de voo com outras aeronaves de forma proativa, precisa, assertiva e sem depender da intervenção dos órgãos de controle de tráfego aéreo. Isso é viabilizado devido à capacidade de visualização a bordo das demais aeronaves equipadas com a mesma tecnologia.

Essa capacidade proporcionada pelo ADS-B demonstra como os pilotos podem assumir um papel mais ativo e autossuficiente na segurança e no gerenciamento do tráfego aéreo, ao terem acesso direto à visualização de aeronaves equipadas com ADS-B. Em função do TIS-B, os pilotos da AFA estão capacitados a tomar ações rápidas, independentes e eficazes para executar coordenações de tráfego aéreo, mitigando situações de conflitos e aumentando os níveis de segurança de voo.

Adicionalmente, cabe enaltecer que o TIS-B desempenha um papel crucial na prevenção de incursões em pista em aeródromos. De acordo com o CENIPA (2012), incursões em pista ocorrem quando uma aeronave, veículo ou pessoa ingressa inadvertidamente em área de manobra de uma pista de pouso ou decolagem em uso, representando um risco significativo para as operações aéreas.

Um exemplo emblemático que evidencia a gravidade das incursões em pista é o trágico acidente ocorrido em março de 1977, no aeroporto de Tenerife, nas Ilhas Canárias. Nesse episódio, de acordo com Saconi (2023), duas aeronaves Boeing 747 colidiram na pista de decolagem, resultando na perda de 583 vidas. Esse acidente, causado pela presença inadvertida de uma aeronave na pista, ilustra a importância da comunicação adequada e da consciência situacional de pilotos e controladores de tráfego aéreo para a condução segura das operações aéreas.

Assim, torna-se fundamental implementar medidas efetivas para evitar tais situações, como o uso de tecnologias avançadas de vigilância, sistemas de alerta e procedimentos de comunicação eficazes. Nesse contexto, o TIS-B desempenha um papel fundamental na prevenção de ocorrências dessa natureza, pois fornece informações atualizadas sobre o tráfego aéreo nas proximidades, permitindo que os pilotos e controladores tenham uma visão holística do ambiente aeronáutico vigente, reduzindo a probabilidade e a gravidade de incursões em pista.

Em relação ao aeródromo da BANT, de acordo com o SIGCEA, percebe-se que o aeródromo apresenta índices preocupantes de incursões em pista, registrando um total de 10 eventos em 2022. Esses números destacam a gravidade da situação e exigem atenção imediata, pois ao se considerarem os 21 aeródromos subordinados e controlados pelo Terceiro Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo (CINDACTA III), o aeródromo da BANT contribuiu, em 2022, com 47,62 % das incursões em pista no referido ano.

Assim, dada a gravidade e a probabilidade de ocorrência de incursões em pista no aeródromo da BANT, fica evidente a importância de investir em uma ferramenta eficaz para mitigar esse tipo de ocorrência. Nesse viés, destaca-se a relevância do ADS-B, que oferece funcionalidades as quais podem colaborar significativamente para aprimorar a consciência situacional dos pilotos e controladores de tráfego aéreo, contribuindo decisivamente para a prevenção de acidentes e para a garantia da segurança das operações aéreas no aeródromo da BANT.

#### **4.5 Influência do Sistema ADS-B no Processo Decisório**

Segundo Anca, Helmerich e Kanki (2010), no contexto da atividade aérea, o processo decisório refere-se ao conjunto de etapas e atividades cognitivas envolvidas na tomada de decisão. Esse processo abrange a análise de informações relevantes, a identificação de opções disponíveis e a seleção das melhores alternativas com base em critérios de segurança, eficiência e conformidade com os regulamentos aeronáuticos. Esse processo é fundamental para lidar tanto com situações normais quanto com emergências.

Nesse contexto, ao abordar o objetivo específico D deste trabalho, referente ao impacto do ADS-B no processo decisório, verifica-se que o ADS-B desempenha um papel crucial ao fornecer informações precisas e em tempo real, auxiliando sobremaneira os pilotos no processo de tomada de decisão, contribuindo na formulação de respostas adequadas a eventos rotineiros e inesperados. Dessa maneira, os pilotos podem realizar julgamentos rápidos, adequados e

tomar decisões com maior embasamento, melhorando significativamente a segurança das operações aéreas.

Destaca-se que o julgamento corresponde a uma etapa fundamental no processo decisório, pois nessa fase ocorre a análise de informações, fatos e circunstâncias para se chegar a uma determinada conclusão. Assim, os pilotos devem avaliar informações relevantes, elencar as possibilidades de ação e selecionar a melhor alternativa em diversas situações de voo. O julgamento adequado permite a identificação e a avaliação corretas das opções disponíveis, contribuindo para a adoção de decisões embasadas e eficazes. Por outro lado, erros de julgamento podem levar a consequências graves.

Nesse ínterim, segundo Falcon (2023), destaca-se o conceito de Sequência de Falha de Julgamento (SFJ), descrito como um conjunto de escolhas inadequadas em sequência que reduz as opções disponíveis de um voo seguro. Assim, uma decisão equivocada aumenta a probabilidade de ocorrência de outras, minimizando as chances de garantir a segurança do voo, sendo os erros influenciados por diversos fatores, como estresse, fadiga, pressão do tempo, falta de informações adequadas e sobrecarga de trabalho.

As principais contribuições do ADS-B para mitigar eventos relacionados à SFJ estão relacionadas à disponibilidade de informações em tempo real sobre condições de tráfego aéreo, meteorológicas e aeronáuticas, facilitando a identificação, a análise e a prevenção de situações de risco. Além disso, o ADS-B auxilia na redução da carga cognitiva dos pilotos, permitindo uma análise precisa do cenário aeronáutico de forma simplificada e, conseqüentemente, diminuindo a probabilidade de erros de julgamento.

A título de exemplo, segundo o SIGCEA, destaca-se o incidente de tráfego aéreo ocorrido na área da CTR Natal em 13 de julho de 2022, envolvendo duas aeronaves C-95M do 1º/5º GAV que estavam em voo de instrução, utilizando as pistas paralelas do aeródromo da BANT. Nesse caso, as aeronaves estavam sendo controladas por órgãos ATC distintos, que planejaram perfis de saída IFR semelhantes para as aeronaves envolvidas. No entanto essa situação resultou em rotas convergentes de voo, levando as aeronaves a cruzarem-se no mesmo nível de voo a uma distância de 0,3 milha náutica, sem que os pilotos envolvidos tivessem qualquer percepção da situação.

Na análise da ocorrência, constatou-se que o planejamento deficiente das rotas de saída das aeronaves, conduzido pelos órgãos ATC, passou despercebido pelos pilotos principalmente devido a cada aeronave estar restrita à escuta de uma frequência de comunicação específica, bem como devido à ausência de equipamento aeroembarcado de visualização e alerta de tráfego aéreo. Assim, a combinação desses fatores aliada à falha dos órgãos ATC gerou uma lacuna na

consciência situacional dos pilotos, impedindo a adoção de qualquer ação efetiva para evitar o incidente, que por pouco não teve um desfecho trágico.

A fim de evitar situações análogas e promover a adoção de ações mais efetivas de segurança de voo, a tecnologia ADS-B pode desempenhar um papel significativo. Por meio da transmissão contínua de informações precisas sobre a posição, velocidade e altitude das aeronaves, o ADS-B permite uma consciência situacional mais completa. No caso mencionado, se as aeronaves envolvidas estivessem equipadas com ADS-B, os pilotos teriam recebido alertas automáticos de proximidade e a presença mútua teria sido destacada em seus visores, proporcionando uma percepção imediata da situação de tráfego crítico. Isso permitiria aos pilotos tomar decisões acertadas para a ocasião, adotando medidas necessárias para evitar a convergência de rotas, prevenindo o incidente em questão.

Sendo assim, evidencia-se que a implementação do ADS-B na operação das UAE de instrução da BANT traz consigo benefícios notáveis para o processo decisório. Ao disponibilizar em tempo real informações de extrema relevância, auxilia os pilotos na identificação, análise e interpretação das situações presentes, contribuindo significativamente para bons julgamentos e, conseqüentemente, para a adoção de medidas adequadas à condução segura do voo, salvaguardando os indivíduos e os ativos da Força, bem como sua capacidade operacional.

## **5 CONCLUSÃO**

Esta pesquisa teve como objetivo geral analisar os impactos da implantação da tecnologia ADS-B na segurança de voo das UAE de instrução da BANT. Para tanto, foram formuladas e investigadas algumas hipóteses acerca da influência dessa tecnologia, considerando as amplas funcionalidades oferecidas pelo sistema.

Entre as hipóteses examinadas, destacam-se a elevação da capacidade de comunicação aeronáutica, o aprimoramento do trabalho em equipe, a melhoria da consciência situacional e o aperfeiçoamento do processo decisório por parte dos pilotos. Essas hipóteses foram cuidadosamente selecionadas devido à sua relevância na promoção da segurança de voo, considerando a abordagem teórica defendida pelos autores Anca, Helmreich, Kanki, Reason e Endsley, especialistas renomados na área de segurança de voo da aviação mundial.

A fim de comprovar ou refutar as hipóteses estabelecidas, inicialmente foi conduzida uma minuciosa pesquisa bibliográfica, abrangendo uma ampla gama de publicações oriundas de organizações de relevância internacional na aviação, em que se destacam a ICAO, FAA,

CASA e o DECEA. A análise das publicações de tais instituições forneceu valiosas informações acerca das funcionalidades do sistema ADS-B e seu impacto na segurança da atividade aérea.

Outrossim, visando à obtenção de uma compreensão abrangente e aprofundada das funcionalidades oferecidas pelo sistema ADS-B, foram conduzidas entrevistas com notórios especialistas da FAB na área. Um dos entrevistados foi o Tenente Coronel Izidro, oficial destacado no DECEA, responsável pelo projeto de implantação do ADS-B no SISCEAB, o que garantiu uma perspectiva privilegiada sobre o assunto.

Além disso, foi realizada uma entrevista com o Major Herculian, oficial destacado na AFA, que desempenhou um papel ativo na implementação do sistema ADS-B no 1º EIA, vivenciando de forma imersiva o ambiente da instrução aérea, tanto em períodos anteriores como posteriores à implementação do sistema. Tal vivência permitiu uma análise minuciosa dos efeitos do sistema na dinâmica e na eficiência da instrução aérea, colaborando para a compreensão mais completa dos resultados obtidos nesta pesquisa.

Ao incorporar as perspectivas dos especialistas entrevistados, a pesquisa bibliográfica e as contribuições dos autores de referência, este trabalho obteve uma base sólida para a análise dos impactos da tecnologia ADS-B na segurança de voo das UAE de instrução da BANT. Essa abordagem multidimensional permitiu uma compreensão abrangente e embasada, fornecendo subsídios valiosos para o aprimoramento da segurança de voo e para o desenvolvimento de melhores práticas no contexto aeronáutico, pois, ao analisar a influência das funcionalidades fornecidas pelo ADS-B nas habilidades críticas dos pilotos, tornou-se evidente o impacto positivo da implantação dessa tecnologia na segurança da atividade aérea conduzida pelas UAE de instrução da BANT, comprovando as hipóteses estabelecidas.

Nesse diapasão, os resultados obtidos revelaram que o sistema ADS-B apresenta um potencial significativo para aprimorar diversos aspectos da segurança de voo. Em relação à comunicação aeronáutica, constatou-se que o ADS-B pode contribuir de maneira substancial para aprimorar a eficiência e a clareza das trocas de informações entre pilotos, bem como entre pilotos e controladores de tráfego aéreo, promovendo uma comunicação mais precisa e ágil.

Além disso, o sistema ADS-B demonstrou ter um impacto positivo no trabalho em equipe, facilitando a cooperação e a coordenação entre os membros da tripulação, o que resulta em uma maior eficácia, eficiência e efetividade das operações aéreas.

No que diz respeito à consciência situacional, observou-se que o sistema ADS-B contribui para um maior conhecimento e compreensão do cenário aeronáutico, fornecendo aos pilotos uma visão mais holística do ambiente aéreo em que se encontram imersos, permitindo uma melhor percepção e antecipação de potenciais riscos.

E, no que tange ao processo decisório, constatou-se que o ADS-B desempenha um papel primordial ao fornecer aos pilotos acesso a informações precisas e atualizadas. Essa disponibilidade de dados em tempo real se mostra de extrema importância ao auxiliar os pilotos no processo de tomada de decisão, proporcionando a eles uma base sólida para lidar tanto com situações rotineiras quanto com eventos imprevistos. Com isso, os pilotos são capazes de realizar julgamentos ágeis e adequados, permitindo-lhes tomar decisões embasadas que contribuem significativamente para a segurança das operações aéreas.

Diante desses resultados, esta pesquisa desempenha um papel fundamental ao fornecer subsídios valiosos à Força Aérea Brasileira, promovendo a oportunidade de elevar os níveis de segurança na atividade aérea conduzida pelas UAE de instrução da BANT. Os resultados demonstraram um claro potencial para aprimorar as práticas de segurança por meio da implantação da tecnologia ADS-B, contribuindo para uma maior eficácia operacional, para a preservação dos recursos humanos e materiais e, conseqüentemente, para a manutenção da capacidade de combate da instituição.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de estudos adicionais com o intuito de analisar a viabilidade de implementação da tecnologia ADS-B em outras UAE da FAB. Essas pesquisas poderiam explorar os desafios específicos de cada unidade e as adaptações necessárias para otimizar a segurança e o desempenho operacional. Além disso, seria valioso investigar o impacto da implantação do sistema ADS-B sob a perspectiva da segurança na atividade de controle de tráfego aéreo, ampliando ainda mais o conhecimento sobre os benefícios e as potenciais melhorias que essa tecnologia pode proporcionar em diferentes contextos operacionais.

Essas iniciativas de pesquisa futura contribuirão para fortalecer o corpo de conhecimento sobre a tecnologia ADS-B, sua implementação e seus efeitos na segurança e eficiência das operações aéreas. Ao avançar nesse campo, a comunidade aeroespacial poderá continuar aprimorando as práticas de segurança, buscando constantemente inovações que impulsionem a excelência operacional e garantam um ambiente aéreo cada vez mais seguro para todos os envolvidos.

## REFERÊNCIAS

- ANCA, J. M.; HELMEREICH, M. T.; KANKI, B. G. **Crew Resource Management: From Principles to Practice**. 2nd ed. Oxford: Academic Press, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNTNBR 6023: informação e documentação, referências e elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Portaria CENIPA nº 1/DAM, de 03 de dezembro de 2012**. Aprova a edição do MCA 3-3 que dispõe sobre o Manual de Prevenção. MCA 3-3 “Manual de Prevenção do SIPAER”. Brasília, DF, 2012.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ARC SBXT, 2022**. Disponível em: [https://www.aisweb.decea.mil.br/?i=cartas\\_sbxt\\_tma-natal\\_arc\\_20221229%20](https://www.aisweb.decea.mil.br/?i=cartas_sbxt_tma-natal_arc_20221229%20). Acesso em: 20 maio 2023.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Sistema de Informações Gerenciais do Subsistema de Segurança Operacional no Controle do Espaço Aéreo**. Disponível em: <https://www.sigcea.decea.mil.br>. Acesso em: 18 maio 2023.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Portaria nº 1.224/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira - Volume 1 (DCA-1-1). **Boletim do Comando da Aeronáutica, Rio de Janeiro, n. 205, f. 14971, 12 nov. 2020**.
- CASA. Civil Aviation Safety Authority. 2012. **ADS-B - Automatic Dependent Surveillance Broadcast System**. Disponível em [https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/\\_assets/main/pilots/download/ads-b.pdf](https://www.casa.gov.au/sites/g/files/net351/f/_assets/main/pilots/download/ads-b.pdf). Acesso em 15 maio 2023.
- ENDSLEY, Mica R. **Designing for Situation Awareness: An Approach to User-Centered Design**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1988.
- FALCON Centro de Instrução de Aviação Civil. **Princípios do CRM na aviação**. Falcon Centro de Instrução de Aviação Civil, 2023. Disponível em: <https://voefalcon.com.br/principios-do-crm-na-aviacao/>. Acesso em: 1 jun. 2023.
- Federal Aviation Administration (FAA). **Automatic Dependent Surveillance–Broadcast 2017**. Disponível em [https://www.faa.gov/nextgen/update/progress\\_and\\_plans/adsb](https://www.faa.gov/nextgen/update/progress_and_plans/adsb). Acesso em: 26 abr. 2023.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2022.
- HELMREICH, R. L. **Why CRM? Empirical and theoretical bases of human factors training**. In: Proceedings of the International Symposium on Aviation Psychology, Dayton, 2010.
- ICAO. **Manual on Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) in the Context of Collision Avoidance and Voluntary Separation**. Montreal: International Civil Aviation Organization. 2016.

MUNDO CONECTADO. **ADS-B**: Entenda como funciona a tecnologia para controle de aeronaves. Mundo conectado 2020. Disponível em: <https://mundoconectado.com.br/artigos/v/13717/ads-b-entenda-como-funciona-a-tecnologia-para-controle-de-aeronaves/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

MOGFORD, R. H. **Air Traffic Control**. Londres: Arnold Publishers. 1995.

OLAGANATHAN, R. **Safety Analysis of Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) System**. International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering 2018. Disponível em: <https://commons.erau.edu/publication/1013>. Acesso em: 15 maio 2023.

REASON, J. **Managing the Risks of Organizational Accidents**. Ashgate Publishing, 1997.

REASON, J. **Human Error**. Cambridge University Press, 1990.

SALAS, E. **Crew Resource Management: principles and practice**. 2. ed. London: Taylor & Francis Group, 2010.

SALAS, E., ROSEN, M.A., KING, H. **Managing Team Performance: Challenges and Strategies**. Academic Press, 2008.

SACONI, Alexandre. **Falha na comunicação causou o acidente mais fatal da história da aviação**. Veja, São Paulo, 01 março 2023. Economia. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/colunas/todos-a-bordo/2023/03/01/tenerife-maior-pior-fatal-acidente-aereo-aviacao-aviao-historia.htm#:~:text=Em%201977%2C%20acontecia%20o%20pior,das%20ilhas%20Can%C3%A1rias%20da%20Espanha>.

WIENER, E. L.; NAGEL, D. C. **Human Factors in Aviation**. Nova York: Academic Press, 1989.

## **APÊNDICE A – Entrevista com o Tenente Coronel Izidro**

O objetivo desta entrevista é coletar dados para a pesquisa sobre a implantação da tecnologia ADS-B e seus impactos na segurança da atividade aérea. Para isso, optou-se por entrevistar o Tenente Coronel Especialista em Comunicações José Izidro Apolinário, gerente do empreendimento do DECEA relacionado à melhoria da Vigilância do Espaço Aéreo Nacional.

### **1) O empreendimento do DECEA relacionado à melhoria da Vigilância do Espaço Aéreo Nacional contempla a implantação da tecnologia ADS-B continental?**

Sim, o referido empreendimento do DECEA abrange vários projetos que visam aprimorar a vigilância do espaço aéreo brasileiro. Entre eles, destaca-se o projeto de implantação do sistema de Vigilância Automática Dependente por Radiodifusão (ADS-B) no Espaço Aéreo Brasileiro.

### **2) Quais os benefícios da implantação da referida tecnologia, quando comparado ao sistema de vigilância RADAR, no que concerne à capacidade de vigilância?**

Primeiramente, é importante frisar que o ADS-B, por ser um sistema de vigilância aérea colaborativo, pode ser comparado ao radar secundário, que utiliza o transponder para transmitir informações. Assim, em relação à capacidade de vigilância, percebe-se que o ADS-B recebe as informações diretamente das aeronaves, dispensando a emissão de ondas eletromagnéticas a partir do solo.

Esse sistema apresenta várias vantagens em relação ao radar secundário, que é o sistema tradicional de vigilância. Uma das principais vantagens é a taxa de atualização das informações, que no ADS-B pode chegar a duas vezes por segundo, enquanto no radar secundário varia entre 4 e 12 segundos, dependendo do tipo de radar.

Isso significa que o ADS-B fornece dados precisos em tempo real sobre a posição e velocidade das aeronaves, o que aumenta a segurança e eficiência do tráfego aéreo. Outra vantagem do ADS-B é sua capacidade de alcance e detecção de alvos, que é superior ao radar secundário, pois as ondas eletromagnéticas que ele utiliza têm maior amplitude e contornam melhor os obstáculos físicos, como montanhas ou prédios. Isso permite que o ADS-B cubra áreas mais extensas e complexas, melhorando a cobertura do espaço aéreo.

### **3) Quais os benefícios da implantação da referida tecnologia, quando comparado ao sistema de vigilância RADAR, no que concerne aos custos de manutenção?**

Com relação aos custos de manutenção, é importante destacar o aspecto relacionado ao tamanho da infraestrutura de suporte que cada sistema requer. O radar necessita de uma infraestrutura terrestre complexa, com antenas, equipamentos e uma rede de comunicação para coletar e transmitir os dados das aeronaves. Isso implica em um custo mais elevado e na necessidade de manutenção frequente para garantir o funcionamento do sistema. Por outro lado, o ADS-B depende mais dos equipamentos instalados nas próprias aeronaves, os quais enviam as informações diretamente para receptores no solo ou para outras aeronaves com ADS-B. Isso simplifica a infraestrutura terrestre, reduz os custos e aumenta a confiabilidade do sistema.

### **4) Quais os benefícios da implantação da referida tecnologia, quando comparado**

**ao sistema de vigilância RADAR, no que concerne à complexidade de manutenção?**

A tecnologia ADS-B apresenta diversos benefícios em relação ao sistema RADAR no que se refere à complexidade de manutenção. Em primeiro lugar, o ADS-B requer uma infraestrutura terrestre mais simples e de menor custo, composta por uma rede de receptores ADS-B, que são mais fáceis de instalar e manter em comparação com as estações terrestres do sistema RADAR, que possuem antenas e equipamentos de processamento de sinais.

Em segundo lugar, o ADS-B depende principalmente do equipamento embarcado na aeronave, que é responsável por gerar e transmitir as informações de vigilância. Isso resulta em descentralização e distribuição da manutenção do sistema ADS-B entre os operadores das aeronaves, reduzindo a carga sobre a infraestrutura terrestre.

Além disso, a formação de mantenedores do sistema ADS-B é mais simples e menos onerosa em comparação com a formação de mantenedores do sistema RADAR, que requerem conhecimentos mais específicos e avançados.

**5) Quais os maiores riscos à segurança da atividade aérea relacionados ao projeto de implantação da tecnologia ADS-B?**

Um dos riscos que poderiam existir é a falta de informações precisas sobre o tráfego aéreo ou a possibilidade de informações falsas no sistema. No entanto, isso não ocorre porque o ADS-B possui um mecanismo de filtragem altamente eficiente, capaz de eliminar tais problemas. Portanto, o sistema é altamente confiável e seguro nesse aspecto.

O ADS-B depende do GPS para receber os sinais de posicionamento das aeronaves, que são utilizados para determinar sua localização, velocidade e altitude. No entanto, isso não representa um problema, uma vez que o GPS é um sistema extremamente robusto e confiável. Ele possui múltiplas redundâncias de componentes, garantindo que não haja falhas ou indisponibilidade. Portanto, os riscos relacionados à dependência do ADS-B em relação ao GPS são considerados muito baixos.

**6) Quais os benefícios da implantação da referida tecnologia no que concerne à capacidade atual de comunicação entre Órgãos ATC e aeronaves?**

A implantação da tecnologia ADS-B traz vários benefícios em relação à capacidade atual de comunicação entre órgãos ATC e aeronaves. Por exemplo, o ADS-B permite maior precisão e atualização das informações sobre a posição, velocidade e altitude das aeronaves, que são transmitidas diretamente dos equipamentos embarcados para os receptores no solo ou para outras aeronaves. Isso melhora a consciência situacional dos pilotos e controladores de tráfego aéreo, aumentando a segurança e eficiência das operações aéreas.

Outro benefício do ADS-B é que ele possibilita o desenvolvimento de aplicações avançadas para pilotos e controladores, como espaçamento, separação e auto-separação das aeronaves, que podem otimizar o gerenciamento do espaço aéreo. Além disso, o ADS-B também permite a transmissão de informações adicionais por meio de seu link de dados, que tem capacidade de até 112 bits. Isso viabiliza a prestação de serviços de informações essenciais à segurança de voo, como informações de rota e aeródromo, dados meteorológicos e informações sobre o tráfego aéreo.

**7) Quais os benefícios da implantação da referida tecnologia, no que concerne à capacidade atual de comunicação entre Órgãos ATC?**

A implantação da tecnologia ADS-B traz vários benefícios em relação à capacidade atual de comunicação entre órgãos ATC (Controle de Tráfego Aéreo). Por exemplo, o ADS-B permite maior precisão e atualização das informações sobre a posição, velocidade e altitude das aeronaves, que são transmitidas diretamente dos equipamentos embarcados para os receptores no solo. Isso melhora a consciência situacional dos controladores de tráfego aéreo, permitindo um melhor gerenciamento do fluxo e da separação das aeronaves, o que aumenta a segurança e a capacidade do espaço aéreo.

**8) Quais os benefícios da implantação da referida tecnologia no que concerne à capacidade de comunicação entre aeronaves em voo ou em solo?**

A implantação da tecnologia ADS-B traz vários benefícios em relação à capacidade de comunicação entre aeronaves em voo ou em solo. Por exemplo, o ADS-B permite que as aeronaves recebam informações sobre o tráfego aéreo ao seu redor, caso estejam equipadas com ADS-B Out. Isso melhora a consciência situacional dos pilotos, que podem visualizar as outras aeronaves em um display no cockpit, aumentando a segurança e a prevenção de colisões.

Além disso, o ADS-B também permite que as aeronaves recebam informações sobre o clima, os serviços de voo e os aeródromos, o que pode auxiliar na tomada de decisões e na otimização das rotas, resultando em economia de tempo e combustível. Outro benefício do ADS-B é possibilitar o desenvolvimento de aplicações avançadas para as aeronaves, como espaçamento, separação e auto-separação, o que pode aprimorar a eficiência e a flexibilidade das operações aéreas.

**9) Quais equipamentos devem ser instalados nas aeronaves para que os usuários possam utilizar todos os recursos ofertados pela tecnologia ADS-B?**

Para aproveitar todos os recursos da tecnologia ADS-B, as aeronaves precisam ter alguns equipamentos instalados. Um deles é o transponder ADS-B Out, que transmite automaticamente as informações da aeronave, como identificação, posição, velocidade e altitude, por meio de um link de dados. Outro equipamento necessário é o receptor ADS-B In, responsável por receber as informações de outras aeronaves, serviços de voo, clima e aeródromos, também por meio do link de dados.

Além disso, as aeronaves devem possuir um sistema de navegação por satélite, que fornece os sinais de posicionamento para o transponder ADS-B Out, determinando a localização, velocidade e altitude da aeronave. Também é necessário um display no cockpit, que exibe as informações recebidas pelo receptor ADS-B In, permitindo aos pilotos terem uma consciência situacional do tráfego aéreo ao seu redor, bem como das condições meteorológicas e dos serviços de voo disponibilizados pelo sistema.

Como o ADS-B é um sistema colaborativo, o piloto tem a opção de compartilhar ou não as informações da sua aeronave com os outros usuários do sistema. Essa possibilidade é especialmente importante para as aeronaves militares, pois lhes permite preservar sua segurança e missão. Para isso, basta desligar o transponder ADS-B Out, interrompendo o compartilhamento das informações. Dessa forma, as aeronaves militares podem evitar ser detectadas ou rastreadas por outras aeronaves ou órgãos de controle de tráfego aéreo que não sejam de seu interesse.

## **APÊNDICE B – Entrevista com o Major Herculian**

Esta entrevista tem como objetivo coletar dados para a pesquisa que aborda a implantação da tecnologia ADS-B e seus impactos na segurança da atividade aérea. Portanto, optou-se por entrevistar o Major Aviador Guilherme Gonçalves Herculian, oficial que assumiu o cargo de Comandante do 1º EIA durante o processo de implantação dessa tecnologia nas operações das aeronaves T-27M da Academia da Força Aérea Brasileira.

**1) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação na comunicação aeronáutica entre tripulantes?**

A implantação da tecnologia ADS-B trouxe impactos positivos significativos na comunicação aeronáutica entre tripulantes. Em alguns voos de área, os instrutores relataram uma melhoria na consciência situacional, pois eles puderam visualizar com maior precisão e antecipação o tráfego aéreo, especialmente no modo sintético, que exibe os tráfegos como símbolos no PFD do piloto. Isso resultou em uma redução de aproximações indesejadas entre as aeronaves e facilitou a resolução visual de conflitos.

Além disso, o ADS-B permitiu que o Oficial de Permanência Operacional (OPO) acompanhasse os voos de área em tempo real por meio do site Flight Radar 24. Isso possibilitou uma melhor gestão dos voos, bem como uma resposta mais rápida e eficiente ao fornecer assistência aos pilotos em situações de urgência ou emergência.

**2) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação na comunicação aeronáutica entre aeronaves?**

A implantação da tecnologia ADS-B também trouxe impactos positivos na comunicação aeronáutica entre aeronaves, permitindo uma maior integração e coordenação entre os tráfegos civis e militares que operam na mesma área de voo. Com o uso do ADS-B, as aeronaves têm a capacidade de visualizar os tráfegos na tela, exibindo informações como código de chamada, velocidade, posição e altitude. Isso facilita o desconflito visual e a consciência situacional dos pilotos, permitindo que eles antecipem manobras e evitem conflitos.

Além disso, o ADS-B também auxilia em situações de espera na área que podem ocorrer por diversos motivos, como aeronaves em emergência, pista interdita ou voos do Esquadrão de Demonstração Aérea (EDA) na vertical da Academia. Nessas situações, o sequenciamento de retorno das aeronaves se torna mais fácil e seguro, pois o Oficial de Permanência Operacional (OPO) pode visualizar todos os tráfegos envolvidos e orientar os pilotos sobre a ordem e o momento de regresso.

**3) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação na comunicação aeronáutica entre aeronaves e órgãos ATC?**

A implantação da tecnologia ADS-B não alterou os níveis de responsabilidade entre as aeronaves e os órgãos ATC, mas sim o nível de informação e consciência situacional dos pilotos. Agora, os pilotos possuem uma visão mais ampla e precisa do tráfego aéreo na área. Isso resultou em um aumento da atenção dos pilotos em relação à proximidade de outras aeronaves e em um maior questionamento dos órgãos de controle em relação às medidas de

desconflito adotadas. Dessa forma, o ADS-B contribuiu para melhorar a segurança e a eficiência na comunicação aeronáutica entre as aeronaves e os órgãos ATC.

**4) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação na trafegabilidade de informações meteorológicas?**

A implantação da tecnologia ADS-B não possibilitou a recepção de informações meteorológicas pelo ADS-B do T-27M, uma vez que o sistema ainda não está instalado no SISCEAB. No entanto, o ADS-B permitiu que o Oficial de Permanência Operacional (OPO) acompanhasse a posição das aeronaves em voo por meio do site Flight Radar 24 e comparasse essas informações com dados meteorológicos obtidos de outros sites, como o REDEMET, INPE, WINDY, entre outros.

Dessa maneira, o OPO tinha a capacidade de monitorar as condições meteorológicas na área ou na rota de navegação das aeronaves e fornecer orientações aos pilotos, como a necessidade de alterar a área de voo, abortar a missão ou ter especial atenção à meteorologia. Essa integração de informações permitiu um melhor gerenciamento das condições meteorológicas e contribuiu para a segurança das operações aéreas.

**5) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação no trabalho em equipe dos tripulantes?**

A implantação da tecnologia ADS-B teve um impacto positivo significativo no trabalho em equipe dos tripulantes, promovendo uma maior interação e participação dos alunos nas decisões de voo. No início da instrução de área, os alunos não têm acesso à página do ADS-B, a fim de desenvolverem a habilidade de receber, interpretar e aplicar informações de radiais e distâncias, bem como realizar busca visual e desconflito com outras aeronaves.

À medida que o curso avança, os alunos passam a ter acesso ao ADS-B e interagem com o sistema e o instrutor, compartilhando informações e tomadas de decisão. A transição de não operar o sistema para operá-lo é fácil e rápida, pois o ADS-B apresenta os dados de maneira simples e intuitiva, facilitando a compreensão e uso efetivo pelos alunos.

Essa integração do ADS-B no treinamento aprimora a colaboração entre os membros da tripulação, permitindo que os alunos contribuam ativamente nas operações de voo e desenvolvam habilidades essenciais para a segurança e eficiência das missões aéreas.

**6) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação na interação entre pilotos e órgãos ATC?**

A tecnologia ADS-B traz uma série de benefícios para a interação entre pilotos e órgãos ATC, proporcionando uma maior consciência situacional e uma melhor coordenação do tráfego aéreo. No entanto, é importante ressaltar que esses benefícios estão diretamente relacionados à equipagem das aeronaves com o sistema ADS-B. Para as aeronaves que não possuem essa tecnologia, não há uma mudança significativa na forma de comunicação e vigilância. Por outro lado, para as aeronaves equipadas com o ADS-B, tanto civis quanto militares, observa-se uma melhoria na percepção e na reação dos pilotos em relação aos outros tráfegos.

Com o ADS-B, os pilotos têm uma visão aprimorada da posição, velocidade e altitude das outras aeronaves, além do sequenciamento de aproximação ou decolagem. Isso facilita a tomada de decisões e a execução de manobras, resultando em um aumento da segurança e da

eficiência das operações. Além disso, os pilotos passam a ter uma compreensão mais clara da situação do espaço aéreo, de forma semelhante aos controladores de tráfego aéreo, o que favorece uma comunicação mais precisa e objetiva entre ambas as partes. Dessa forma, a tecnologia ADS-B promove uma interação aprimorada entre pilotos e órgãos ATC, otimizando a gestão do tráfego aéreo e contribuindo para um ambiente mais seguro e eficiente no espaço aéreo.

**7) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação na consciência situacional dos pilotos?**

A tecnologia ADS-B desempenha um papel fundamental no aprimoramento da consciência situacional dos pilotos, proporcionando acesso a informações precisas e atualizadas sobre a posição e movimento das outras aeronaves no espaço aéreo.

Com o ADS-B, os pilotos têm a capacidade de visualizar, em uma tela no cockpit, dados como altitude, velocidade, direção e identificação das outras aeronaves equipadas com o sistema. Além disso, eles podem receber alertas de possíveis conflitos ou colisões. Essa funcionalidade aumenta consideravelmente a capacidade dos pilotos de antecipar e evitar situações de risco, bem como de planejar e executar manobras com maior segurança e eficiência.

Graças ao ADS-B, os pilotos desenvolvem uma consciência situacional mais abrangente do ambiente operacional, compreendendo os fatores que afetam o voo de forma mais precisa. Eles podem identificar com mais clareza a presença e a localização de outras aeronaves, o que contribui para uma tomada de decisão mais informada e para a redução de potenciais riscos.

**8) Levando-se em consideração os benefícios ofertados pela tecnologia ADS-B, seria possível descrever quais os impactos identificados da referida implantação no processo decisório da tripulação?**

A tecnologia ADS-B representa um sistema altamente benéfico para o processo decisório da tripulação, ao fornecer dados extremamente precisos e atualizados sobre o posicionamento e o movimento das demais aeronaves no espaço aéreo. Essas informações são recebidas e exibidas em uma tela no cockpit, oferecendo aos pilotos uma visão abrangente e clara do ambiente operacional.

Devido ao ADS-B, os pilotos têm a capacidade de selecionar o setor de área mais adequado para a realização do voo, levando em consideração o fluxo e a distribuição do tráfego aéreo. Isso permite que evitem áreas congestionadas ou com maior potencial de conflito, otimizando tanto o tempo de voo quanto o consumo de combustível.

Adicionalmente, os pilotos podem realizar uma avaliação mais precisa da distância e da diferença de altitude entre as aeronaves que operam no mesmo setor ou área. Essa avaliação aprimorada possibilita ajustes mais precisos e seguros na altitude, velocidade e rota da aeronave. Como resultado, o ADS-B apoia os pilotos na tomada de decisões, contribuindo para uma operação aérea mais eficiente e segura, enquanto aumenta a confiabilidade e a facilidade de operação para os pilotos.

Em resumo, a tecnologia ADS-B desempenha um papel crucial no processo decisório da tripulação, oferecendo informações precisas e atualizadas que promovem uma operação aérea mais segura, eficiente e confiável. Com recursos avançados, como a seleção de setores de área adequados e uma avaliação aprimorada da proximidade entre as aeronaves, o ADS-B

representa uma ferramenta essencial para os pilotos, contribuindo significativamente para o sucesso das operações aéreas.