

# MODERNIZAÇÃO DE AERONAVES E SEGURANÇA DE VOO: ESTUDO DE CASO DO T-27 TUCANO NA ACADEMIA DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA<sup>1</sup>

## AIRCRAFT MODERNIZATION AND FLIGHT SAFETY: CASE STUDY OF THE T-27 TUCANO IN THE BRAZILIAN AIR FORCE ACADEMY

Lucas Assunção Angelim Moraes<sup>2</sup>  
Allan Pedro Nichele<sup>3</sup>

### RESUMO

As tecnologias envolvendo a aviação mundial, desde procedimentos de voo até os equipamentos presentes nas aeronaves, encontram-se em constante evolução. A incorporação e integração de sistemas avançados, como o GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), RNP (Navegação de Área) e ADS-B (Vigilância Dependente Automática - Difusão), além da utilização de *glass cockpit*, proporcionam aos pilotos informações mais precisas e em tempo real, o que facilita a tomada de decisões, aumenta a consciência situacional e, de maneira geral, contribui diretamente para o aumento da segurança de voo. Paralelamente, a Academia da Força Aérea (AFA) possui a responsabilidade de formar os futuros pilotos militares brasileiros, e por isso busca acompanhar e se adaptar às mudanças do cenário mundial da aviação. Neste contexto, no ano de 2022 foi realizada a modernização da aeronave T-27 Tucano, utilizada na instrução básica dos Cadetes no 1º Esquadrão de Instrução Aérea (1º EIA), com a implantação do conceito de *glass cockpit*, com display eletrônicos e telas LCD. Com a inclusão de equipamentos como o Garmin G600, GTN 650 e o ADS-B, houve uma mudança nas capacidades oferecidas por aquele vetor aéreo, sobretudo em relação à navegação aérea e confiabilidade nos sistemas operacionais. Com isso, este artigo teve como objetivo analisar o impacto da modernização no T-27 nas capacidades operacionais e na consciência situacional dos pilotos e, conseqüentemente, na segurança de voo. Para isso, foi realizada uma revisão narrativa a respeito da relação entre a modernização das aeronaves, dos avanços tecnológicos e da consciência situacional com a segurança de voo. A partir da análise das novas capacidades advindas da modernização do T-27, verificou-se que houve um aumento significativo das capacidades de navegação aérea e, principalmente, da consciência situacional dos operadores da aeronave. Isso tem como resultado uma operação mais segura e confiável, além de promover uma instrução mais atualizada em relação ao atual cenário da aviação. Por fim, os resultados obtidos com a modernização do T-27 corroboram com a importância de investimentos para o desenvolvimento de tecnologia aeronáutica, e que podem ser estendidos para as demais aeronaves da Força Aérea Brasileira.

**Palavras-chave:** Modernização; Consciência Situacional; Segurança de Voo; Instrução Aérea; T-27.

---

<sup>1</sup> Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

<sup>2</sup> Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma Árion, 2024).

<sup>3</sup> Capitão Aviador. Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético. Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA). E-mail: allanapn@fab.mil.br

## ABSTRACT

Technologies involving global aviation, from flight procedures to the equipment present in aircraft, are constantly evolving. The incorporation and integration of advanced systems such as GNSS (Global Navigation Satellite System), RNP (Required Navigation Performance), and ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast), along with the use of glass cockpits, provide pilots with more accurate and real-time information. This facilitates decision-making, increases situational awareness, and generally contributes directly to enhanced flight safety. In parallel, the Air Force Academy (AFA) is responsible for training future Brazilian military pilots, and therefore seeks to keep pace with and adapt to changes in the global aviation scenario. In this context, in 2022, the modernization of the T-27 Tucano aircraft, used in the basic training of cadets in the 1st Air Instruction Squadron (1st EIA), was carried out with the implementation of the glass cockpit concept, featuring electronic displays and LCD screens. With the inclusion of equipment such as the Garmin G600, GTN 650, and ADS-B, there was a significant improvement in the capabilities offered by this aircraft, especially in relation to air navigation and the reliability of operational systems. Thus, this article aimed to analyze the impact of the modernization of the T-27 on the operational capabilities and situational awareness of the pilots, and consequently, on flight safety. For this purpose, a narrative review was conducted regarding the relationship between aircraft modernization, technological advances, situational awareness, and flight safety. From the analysis of the new capabilities resulting from the T-27 modernization, it was found that there was a significant increase in air navigation capabilities and, most importantly, in the situational awareness of the aircraft operators. This results in a safer and more reliable operation, in addition to promoting more up-to-date training in relation to the current aviation scenario. Finally, the results obtained with the modernization of the T-27 underscore the importance of investments in the development of aeronautical technology, which can be extended to other aircraft in the Brazilian Air Force.

**Keywords:** Modernization; Situational Awareness; Flight Safety; Air Instruction; T-27.

## INTRODUÇÃO

A modernização de aeronaves constitui um processo fundamental para melhorar a eficiência e a segurança de voo. De acordo com Moir e Seabridge (2011), a integração de novos sistemas, sejam eles mecânicos, elétricos e aviônicos, mostra-se essencial para otimizar a performance e a segurança das aeronaves. Ao mesmo tempo, a segurança de voo se mostra um problema atual e complexo, e não só a vida das tripulações depende da sua solução bem-sucedida, mas também a eficiência e a prontidão da aeronave para uso (Čestić, Sokolović, Dodić, 2022).

Atrelado a isso, novas tecnologias aplicadas à aviação são capazes de produzir sistemas mais intuitivos e informativos, os quais permitem aos pilotos tomarem decisões mais assertivas e evitar erros que podem levar a acidentes. Estudos como o de Jones e Endsley (1996), por exemplo,

demonstram que a perda de consciência situacional, considerada fator crítico para a segurança de voo, apresenta-se como um fator contribuinte em grande parte dos acidentes aéreos.

Nesse ínterim, a Força Aérea Brasileira (FAB) vem em constante processo de aquisição e modernização de seus vetores aéreos, como por exemplo a operação de aeronaves como o F-39 Gripen e o KC-390 Millennium. Da mesma forma, a Academia da Força Aérea (AFA), responsável pela formação dos futuros oficiais aviadores da FAB, começou em 2020 um processo de modernização de suas aeronaves de treinamento avançado T-27 Tucano. Por meio de um projeto desenvolvido juntamente com empresas privadas e liderado pelo Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa (PAMA-LS), o primeiro protótipo voou em 23 de outubro de 2020, com a operação começando, finalmente, em dezembro de 2021 na AFA (Tecno Defesa, 2024).

A partir de 2022, a instrução básica dos Cadetes Aviadores, realizada no 1º Esquadrão de Instrução Aérea (1º EIA), adaptou-se às mudanças realizadas no T-27, com a implantação do conceito de *glass cockpit* e a inserção de conceitos como navegação baseada em performance, do inglês *Performance Based Navigation* (PBN) e sistemas como o ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*). Este processo, então, pode ser encarado como um marco na aviação militar, o que destaca a relevância de estudar os seus impactos na segurança de voo.

Assim, este estudo se justifica pela necessidade de compreender os impactos da modernização do T-27 nas das capacidades operacionais e da consciência situacional dos pilotos, sendo este um fator vital para a segurança das operações aéreas.

O problema de pesquisa centraliza-se na seguinte questão: "Como a modernização da aeronave T-27 na AFA, com a transição para um *glass cockpit* e a incorporação de capacidades avançadas de navegação, contribuem para o aumento da consciência situacional dos pilotos e, conseqüentemente, para a segurança de voo? Esta pergunta direciona a investigação para os impactos específicos da modernização no contexto da formação de Oficiais Aviadores e na prática da aviação militar.

Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar o impacto da modernização no T-27 nas capacidades operacionais e na consciência situacional dos pilotos e, conseqüentemente, na segurança de voo. Para alcançar esse objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos secundários: i. analisar a relação da modernização de aeronaves com a segurança de voo; ii. verificar a relação de avanços tecnológicos com a consciência situacional; iii. verificar a influência do ADS-B na consciência situacional, iv. explorar as mudanças ocorridas no T-27 com o processo de modernização; e v. verificar os benefícios deste processo para a segurança de voo na formação dos

Oficiais Aviadores da FAB. Ao explorar esses objetivos, busca-se contribuir para a compreensão dos impactos da tecnologia na aviação e para o aprimoramento das práticas de segurança no setor aeronáutico militar.

## 1 MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa, adotou-se uma abordagem metodológica baseada na revisão narrativa de artigos científicos relativos à modernização de aeronaves, consciência situacional e segurança de voo. Ao mesmo tempo, verificou-se manuais e documentos oficiais a respeito do processo de modernização do T-27. Assim, a adoção desse tipo de revisão possibilitou uma análise das inovações tecnológicas implementadas na T-27, enquanto a análise comparativa dos dados forneceu *insights* sobre o impacto dessas mudanças na consciência situacional dos pilotos e, conseqüentemente, na segurança de voo.

Utilizou-se uma abordagem qualitativa das informações com o intuito de elucidar conceitos fundamentais para o andamento da pesquisa, sendo assim, o método de análise dos dados coletados.

Essa abordagem metodológica visou fornecer uma análise abrangente e fundamentada sobre os impactos da modernização da T-27 nas capacidades operacionais e consciência situacional, e conseqüentemente na segurança de voo na formação de Oficiais Aviadores da FAB na AFA.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MODERNIZAÇÃO DE AERONAVES E SEGURANÇA DE VOO

Estudos como o de Čestić, Sokolović, Dodić (2022) apontam que a segurança de voo está condicionada à uma série de fatores da atual realidade da aviação mundial, como a velocidade do voo, decolagem e pouso, complexidade das aeronaves, requisitos de operação de aeronaves militares, aumento da densidade de tráfego, entre outros. Diante disso, a qualidade e confiabilidade operacional da tripulação deve ser elevada de maneira que a carga de trabalho e a complexibilidade dos novos sistemas não contribuam para a diminuição da segurança do voo.

Quanto ao processo de modernização das aeronaves no geral, estudos como o de Čestić, Sokolović, Dodić (2022) apontam que novas gerações de aeronaves, equipadas com sistemas eletrônicos capazes avaliar as condições estruturais e situacionais em diferentes situações de voo,

são uma excelente forma de promover um aumento na segurança de voo, tendo em vista que o trabalho que seria realizado pela tripulação agora é feito pelo próprio sistema da aeronave, corroborando com a ideia de que sistemas modernos da aviação estão contribuindo para tornar o voo mais seguro.

Ficová et al. (2016) concluem em seus estudos que, considerando as tendências futuras na aviação geral, o papel dos pilotos na cabine necessita ser revisado. A aviação é uma esfera onde a inovação e os avanços tecnológicos são inevitáveis, o que resulta na necessidade de maior treinamento especializado de seus operadores, com o intuito de adequá-los à realidade tecnológica das aeronaves. Assim, as habilidades básicas do piloto são essenciais, porém tem sido necessário que ele obtenha capacidades gerenciais específicas para se adequar aos novos sistemas das aeronaves.

Magalhães (2023), por exemplo, analisou como a obsolescência dos equipamentos de navegação e proteção ao voo da aeronave E-120 da EMBRAER, conhecida na FAB como C-97 Brasília, influencia a segurança de voo. Nesse estudo, destacou-se que o atraso tecnológico da aeronave limita seu desempenho e capacidade operacional no território nacional, além de prejudicar a progressão técnica e operacional dos pilotos do C-97. Com base em relatórios do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), Magalhães conclui que a falta de modernização dos equipamentos compromete a segurança de voo, devido à baixa confiabilidade dos sistemas, aumentando os riscos operacionais e diminuindo a consciência situacional da tripulação.

Ao mesmo tempo, a introdução da capacidade PBN representa um grande avanço no quesito navegação aérea para as aeronaves que passam por um processo de modernização. O conceito de PBN diz respeito aos requisitos necessários para realizar uma navegação baseada na performance da aeronave, aplicados à rota de tráfego aéreo e os procedimentos sob regras de voo por instrumentos disponíveis (Pamplona *et al.*, 2016). Um estudo de Baburov et al. (2020) demonstrou que a utilização de sistemas de navegação baseados em GNSS, como o G650 e o G600, está associada a uma redução significativa na taxa de acidentes relacionados à navegação.

As capacidades RNP, do inglês *Required Navigation Performance*, e RNAV, do inglês *Area Navigation*, demonstram um grande avanço em tecnologia de navegação. O conceito de RNP pode ser definido como uma medida da performance necessária da aeronave para realizar as operações em um determinado espaço aéreo (Pamplona *et al.*, 2016), enquanto RNAV define-se como um método de navegação que permite a operação da aeronave em qualquer trajetória desde que esteja dentro de uma cobertura de auxílios ou estações que balizem a sua navegação (ICAO, 2013).

Ambos os tipos de navegação buscam utilizar melhor o espaço aéreo à seu favor, sendo uma das principais diferenças entre eles os requisitos de alerta e monitoramento que devem estar embarcados na aeronave, sendo uma obrigatoriedade para o RNP e não para o RNAV.

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é outra capacidade que foi aprimorada no T-27. Este sistema refere-se a um vasto conjunto de satélites que emitem sinais de alta frequência proporcionando informações de tempo e distância para receptores no solo, que sendo capazes de processar essas informações, podem fornecer recursos de navegação aos seus operadores (Cardoso, 2023).

## 2.2 AVANÇOS TECNOLÓGICOS E CONSCIÊNCIA SITUACIONAL NA AVIAÇÃO

A consciência situacional na aviação refere-se à percepção precisa e completa de todos os elementos relevantes ao redor de um piloto durante o voo, dentro de um volume de tempo e espaço (Furno, 2010). Manter uma boa consciência situacional é essencial para a tomada de decisões eficazes e seguras durante o voo. A perda de consciência situacional pode levar a erros operacionais, incidentes e acidentes. Na prática, envolve a capacidade de processar rapidamente informações dinâmicas, antecipar problemas potenciais e responder adequadamente às mudanças no ambiente de voo (Endsley, 1999).

De acordo com Rosa (2022), os estudos sobre consciência situacional na aviação ganharam grande força nas últimas devido à constatação de que a falta dela foi motivo para a ocorrência de diversos acidentes aéreos já registrados, o que fortalece a ideia de que a percepção e entendimento do ambiente ao redor da aeronave é um dos fatores que mais contribuem para a condução um voo seguro. Na aviação, situações de desconforto entre os pilotos dentro da cabine ocorrem principalmente devido ao baixo nível de consciência situacional coletiva, erros de operação, e aumento da carga mental (Henriqson *et al.*, 2009).

Pesquisas como a de Endsley (1999) sublinham a relevância da consciência situacional para a tomada de decisões seguras e eficientes em ambientes dinâmicos e complexos, como os da aviação militar. Para a tripulação, manter um alto nível de consciência situacional pode ser um grande desafio durante o voo.

Segundo Endsley (1999), a consciência situacional pode ser dividida em três níveis:

1. Percepção de elementos do ambiente: destaca-se a importância do piloto perceber os elementos relevantes no ambiente em que está inserido, como outras aeronaves, o terreno, status dos sistemas da aeronave, luzes de emergência, entre outros (Endsley, 1999).

2. Percepção da presente situação: consiste na percepção dos elementos presentes no nível 1 combinado com o entendimento e consciência do que está acontecendo e a significância desses elementos para a condução do voo (Endsley, 1999).
3. Projeção de status futuro: o terceiro nível diz respeito à capacidade do piloto em projetar as possíveis situações em que o voo irá se encontrar nas situações futuras, favorecendo ao piloto a possibilidade de decidir a maneira como irá conduzir a aeronave a fim de atingir seus objetivos (Endsley, 1999).

Esses níveis servem como um parâmetro para identificar em qual nível de consciência situacional a tripulação se enquadra e o que deve ser avaliado como importante para a condução do voo.

Para manter um bom nível de consciência situacional, é de grande relevância que a disponibilidade de informações seja compatível com a complexidade das situações em voo, assim como é necessário que existam sistemas que forneçam dados concernentes a essas fases (Furno, 2010).

De acordo com Endsley (1999), a capacidade que uma aeronave tem em conseguir informação e disponibilizá-la tem impacto direto na consciência situacional da tripulação. A falta de informação pode ser um grande problema para a manutenção de uma boa consciência situacional, bem como o excesso de informações também pode ser capaz de atrapalhar este processo. Tendo em vista esta situação, é possível afirmar que o excesso de informações apresentadas ao piloto pode ser causado pelas melhorias nas capacidades aviônicas que ocorrem com o passar das décadas, e filtrar esses dados para obter o que se é desejado é fundamental para alcançar uma visão geral do que está acontecendo, sendo esta uma tarefa que pode ser um grande desafio.

Ainda segundo Endsley (1999), compreender de forma clara a consciência situacional na aviação depende da elucidação dos elementos dos três níveis citados acima, de forma que a tripulação possa perceber, entender e projetar a situação do ambiente. Esses elementos são específicos de cada tipo de sistema e tipo de voo, como por exemplo, em um voo comercial, os elementos e situações que irão aparecer são diferentes de uma missão realizada por aeronaves militares.

No entanto, muitos elementos são comuns a diferentes tipos de sistemas, como informações geográficas e espaciais, que referem-se à localização da aeronave ou de outras aeronaves, altitude, rumo, velocidade, entre outros (Endsley, 1999). Além destes elementos, segundo Endsley (1999), podemos destacar também informações referentes ao status de sistemas e situações no ambiente, como formações meteorológicas. Para uma aeronave militar, todos esses aspectos são somados a elementos relativos a cada tipo de missão realizada.

O modelo de Endsley (1999) elenca um grupo de fatores individuais que influenciam o nível de consciência situacional do piloto, sendo a atenção um importante e determinante fator citado. Em um ambiente dinâmico da aviação, em especial durante a instrução aérea no 1º EIA, a sobrecarga de informações e a complexidade de tarefas pode gerar uma sobrecarga nos pilotos, podendo significar a perda de consciência situacional e tomada de decisões ruins, resultando no erro humano. Assim, a consciência situacional está ligada diretamente à segurança de voo.

### 2.3 ADS-B E SEGURANÇA DE VOO

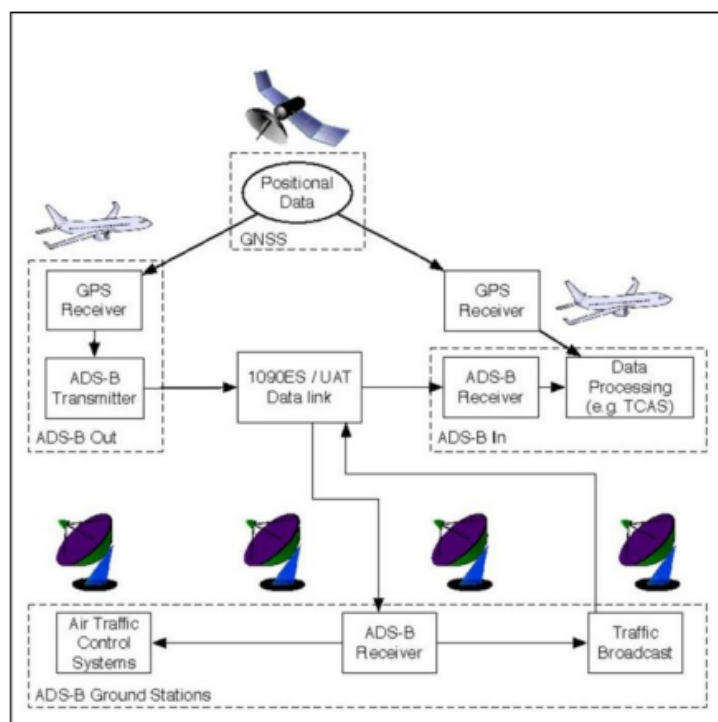
O ADS-B é uma recente tecnologia de vigilância que tem como objetivo prover meios para determinar a posição de aeronaves em voo, bem como outras informações relevantes para uma navegação segura (Cardoso, 2023). Este sistema busca aprimorar a capacidade de vigilância das aeronaves durante o voo, substituindo os radares mais tradicionais, além de trazer suporte para os controladores e procedimentos de hoje. Um piloto a bordo de uma aeronave com tecnologia ADS-B dispõe de diversos auxílios que fazem as operações e navegações aéreas serem conduzidas de maneira segura e confiável, sendo assim de grande valia para a segurança de voo de uma maneira geral (Cardoso, 2023).

Segundo Scarso (2018), com a utilização de instrumentos compatíveis com os sistemas ADS-B, a tripulação dispõe de informações à respeito da posição de outras aeronaves que possam causar uma possível colisão, além de obter informações meteorológicas capazes de afetar as condições do voo, contribuindo, desta forma, para o aumento do nível de consciência situacional da tripulação, resultando em uma melhor tomada de decisão do piloto e aumento de segurança das operações aéreas.

Quanto às tecnologias radar mais utilizadas, é fato que sua operação perdura durante muitos anos, porém, nota-se que tais sistemas possuem limitações sobretudo quanto a leitura em ambientes com tráfego aéreo intenso, instalação em lugares remotos, operação em áreas inhóspitas e detecção de aeronaves a baixa altura (Cardoso, 2023). Muito devido à essas limitações, a Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (do inglês, *Automatic Dependent Surveillance-Broadcast*), ganha cada vez mais espaço no cenário da aviação, sendo sua implantação, realidade na maioria dos espaços aéreos no mundo.

De maneira geral, o ADS-B tem a finalidade principal de difundir continuamente dados de vigilância aérea no intuito de incrementar a consciência situacional não só das tripulações a bordo

das aeronaves, mas também dos ATCOs (Controlador de Tráfego Aéreo) em solo. Um sistema ADS-B é composto de dois componentes funcionais embarcados: o ADS-B Out, que diz respeito ao módulo responsável pela transmissão, e o componente ADS-B In, responsável pela recepção dos dados transmitidos, além também do ADS-B *Ground Station*, que refere-se às estações de recepção no solo, como ilustra a figura 1 (Cardoso, 2023).



**Figura 1** Representação do Sistema ADS-B

Fonte: Elaborada por Cardoso (2023)

Estudos como o de Strohmeier et al. (2013) destacam que a precisão aumentada melhora a segurança e diminui a probabilidade de incidentes de forma significativa, proporcionando, desta forma, melhorias operacionais significativas tanto para as companhias aéreas quanto para os gerentes de tráfego aéreo. Como forma de elucidar os benefícios que o ADS-B, os estudos de Kunzi (2011) buscam identificar situações em que a presença desse sistema é capaz de proporcionar benefícios ao seu usuário quando comparada com os antigos sistemas de vigilância de tráfego aéreo.

Segundo Kunzi (2011), por meio da análise de relatórios de quase colisão aérea, pode-se concluir que a maior probabilidade das aeronaves se encontrarem está nas proximidades dos aeroportos. Este ambiente mostra-se vulnerável a possíveis conflitos de tráfego quando equipado com equipamentos de Consciência de Tráfego anteriores ao ADS-B devido à qualidade de dados de

vigilância, tendo em vista que este novo sistema apresenta tais dados com uma resolução muito maior (Kunzi, 2011).

Com isso, é esperado que os Sistemas de Vigilância de Tráfego Aéreo baseados em tecnologia ADS-B sejam capazes de fornecer alertas de tráfego confiáveis capazes de contribuir para a manutenção da segurança de voo, servindo também como um incentivo para demais organizações aderirem este tipo de tecnologia.

De acordo com Kunzi (2011), os benefícios da implantação do ADS-B podem ser divididos em três tópicos:

1. Aumento de segurança: o ADS-B é capaz de fornecer, de forma gratuita, informações meteorológicas e de espaço aéreo para seus usuários, contribuindo para a tomada de decisão das tripulações e redução de acidentes, além de fornecer ao piloto e aos controladores de voo uma imagem de tráfego mais precisa e com uma maior qualidade de informações, esperando que desta forma, ocorra um aumento da consciência situacional da tripulação resultando na redução do número de colisões, bem como incidentes e acidentes com relação à conflitos de tráfego (Kunzi, 2011).
2. Eficiência melhorada: com a introdução da vigilância aérea baseada em ADS-B, espera-se que ocorram melhorias na eficiência dos procedimentos de chegada e partida, devido à maior qualidade de dados proporcionados, resultando na redução do tempo total de voo. Além disso, o ADS-B é capaz de fornecer vigilância aérea em áreas que os sistemas radares não são capazes de operar, possibilitando uma extensão de procedimentos (Kunzi, 2011).
3. Redução de custos de manutenção e infraestrutura: espera-se que instalação e manutenção de infraestrutura ADS-B seja menos dispendiosa do que as de um sistema radar. Desta forma, o ADS-B é uma boa alternativa para substituição de radares em locais de grande fluxo aéreo e em locais onde a instalação de sistemas radares não é possível (Kunzi, 2011).

Desta maneira, espera-se que o ADS-B seja capaz de fornecer um considerável aumento em termos de segurança, consciência situacional e eficiência, sendo assim um sistema desejado pelas instituições.

## 2.4 A AERONAVE T-27 TUCANO NA ACADEMIA DA FORÇA AÉREA

A Academia da Força Aérea (AFA), instituição responsável por formar os Oficiais da Força Aérea Brasileira dos quadros de Aviadores, Intendentes e de Infantaria, visa a formação militar, intelectual, profissional, moral, cívica e social do futuro Oficial da Aeronáutica (Aparecida, 2006). Quanto à formação dos Oficiais Aviadores, os Cadetes do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAV) que estão no seu quarto e último ano de formação, realizam as instruções aéreas na aeronave T-27 Tucano (Demo, 2006).

A aeronave T-27 *Tucano* foi produzida sob um modelo de *cockpit* inteiramente analógico, tendo em vista o período em que o projeto foi concebido, ainda na década de 80. Com o tempo, esse modelo se tornou cada vez mais obsoleto em termos de aviônica, surgindo a necessidade de adequá-lo às demandas do século XXI (Brasil, 2022). Diante disso, o T-27 passou por um processo de modernização, que será abordado mais à frente na pesquisa.

A instrução aérea na AFA é dividida em duas etapas, sendo a primeira realizada no segundo ano de formação dos Cadetes no 2º Esquadrão de Instrução Aérea (2º EIA), utilizando a aeronave T-25, e a segunda etapa no quarto ano de formação, no 1º Esquadrão de Instrução Aérea (1º EIA) o qual é responsável por ministrar o curso da aeronave T-27 para os Cadetes. Atualmente, o curso se divide nas fases de Pré-solo, Manobras e Acrobacias, Voo de Formatura, Voo por Instrumentos, Navegação, e Voo Noturno.

#### **2.4.1 Fases de Instrução no 1º EIA**

A fase de Pré-solo é a primeira etapa do curso que o cadete deve ser aprovado. Durante esta etapa, o piloto realiza uma série de voos, sendo acompanhado e instruído por um instrutor, que além de ensinar também necessita avaliar se o desempenho do cadete está dentro dos mínimos exigidos. Espera-se que o cadete desenvolva a capacidade de decolar e pousar a aeronave de maneira autônoma, além de conduzir o voo de maneira segura realizando as coordenações adequadas com as demais aeronaves em voo, bem como manter-se dentro da área de instrução corretamente (Ministério da Defesa, 2024). Também é esperado do piloto, que ele seja capaz de sanar quaisquer eventuais panes que ocorram durante o voo, o que é alcançado através de diversos treinamentos e tempo de estudo. Ao final da fase, o cadete realiza um voo sem a presença do instrutor a bordo, tendo total responsabilidade pela aeronave (Ministério da Defesa, 2024).

Tendo concluído o Pré-solo com êxito, o cadete está apto para dar início às demais fases do curso, que exigirão novas competências dos pilotos em formação. As etapas de Manobras e Acrobacias e Voo de Formatura são dois tipos de voo que exigem uma evolução no raciocínio espacial do cadete e de suas habilidades psicomotoras, demandando grande dedicação e aperfeiçoamento das suas técnicas de pilotagem (Ministério da Defesa, 2024).

Voo por Instrumentos, Navegação e Voo Noturno são fases onde o gerenciamento e condução do voo são altamente cobrados. Na etapa de instrumentos, o cadete é ensinado a realizar o voo orientando-se somente pelos instrumentos disponíveis na aeronave sem auxílio de referências

visuais no ambiente, como o horizonte, terreno, entre outros. Além disso, é esperado que ao final da fase, o piloto tenha a capacidade de interpretar e realizar procedimentos de voo por instrumento de maneira autônoma (Ministério da Defesa, 2024).

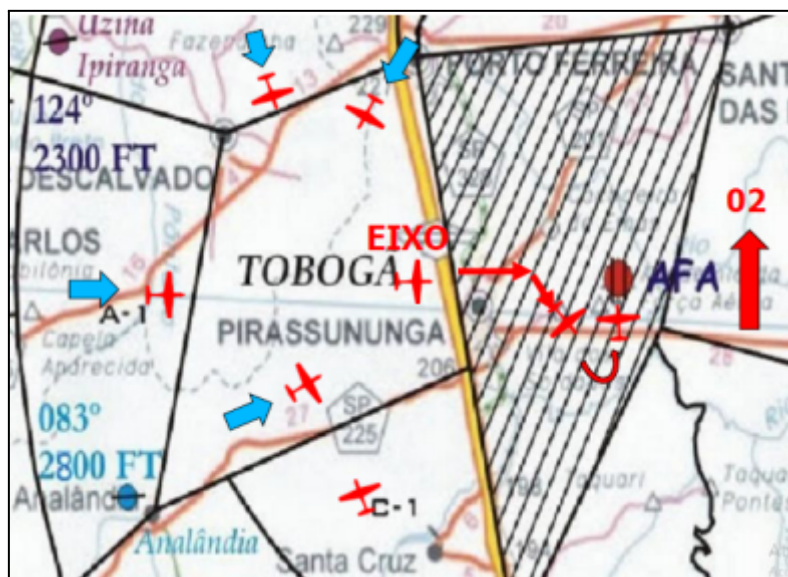
A instrução de voo noturno é realizada com o intuito de familiarizar o piloto ao ambiente aéreo no período noturno, para que na fase de navegações o cadete utilize as experiências adquiridas para cumprir sua missão. A etapa de navegação é onde o cadete coloca em prática a grande maioria dos ensinamentos adquiridos durante o curso, principalmente com relação ao gerenciamento do voo, monitoramento das demais aeronaves em voo, planejamento e realização de procedimentos instrumento (Ministério da Defesa, 2024). Espera-se que o cadete seja capaz de planejar e realizar uma navegação de uma localidade à outra mantendo o voo dentro dos níveis de segurança exigidos, demandando grande responsabilidade e consciência situacional por parte do piloto (Ministério da Defesa, 2024).

Durante todas as fases do curso, o Cadete é rigorosamente cobrado em relação à condução do voo de forma segura e consciente do que está acontecendo ao seu redor. Por diversas vezes, o cadete se encontrará em uma situação em que é necessária uma coordenação correta com as demais aeronaves em voo para evitar uma possível colisão, necessitando, desta forma, de um alto nível de consciência situacional e compreensão do ambiente em que está inserido (Ministério da Defesa, 2024).

Esta habilidade de analisar o ambiente ao seu redor e tomar a decisão correta, é fortemente estimulada no cadete, tendo em vista que esse nível de consciência é uma competência altamente esperada dos pilotos. Este tipo de situação é de caráter rotineiro nos voos de instrução no 1º EIA, como será exemplificado a seguir.

Para a realização das missões de instrução na AFA, foi determinada uma área delimitada para que as aeronaves possam se deslocar e realizar os treinamentos necessários (Figura 2).





**Figura 3** Regresso das aeronaves

Fonte: Manual de Instrução de voo T-27 (2024)

As aeronaves transitam por *Tobogã*, todas com a mesma velocidade e altitude, passando em seguida por um ponto em comum denominado *Eixo*. No *Eixo*, as aeronaves dão início ao circuito de tráfego da AFA e prosseguem para o pouso, sendo assim um dos pontos mais críticos e congestionados das missões. O nível de atenção do piloto deve ser elevado quando próximo desta etapa do voo, exigindo grande concentração para se manter atento às demais aeronaves próximas, bem como às referências visuais que balizam o percurso que a aeronave deve percorrer.

O T-27, devido ao processo de modernização, adquiriu novos sistemas capazes de auxiliar nesse monitoramento e aumento o nível de consciência situacional dos pilotos, sendo este tema abordado no decorrer da pesquisa.

#### 2.4.1 Modernização da aeronave T-27

A aeronave T-27 passou por um processo de modernização onde seu *cockpit* analógico, composto por instrumentos robustos, foi substituído por painéis digitais avançados em termos de tecnologia aeronáutica. O modelo analógico do T-27 era equipado com uma grande quantidade de mostradores e equipamentos que, após o seu processo de modernização, os quais foram condensados em *displays* mais simples.

Toda a parte de rádios da aeronave agora encontra-se em um único aparelho, o GTN 650, além de contar com um sistema de backup dos equipamentos de rádio. Os instrumentos primários de voo agora também são apresentados em uma única tela que fornece essas informações de maneira clara e intuitiva à tripulação.

Outro sistema integrante do T-27 modernizado é o G600 que, de maneira breve, constitui-se de um sistema operacional que pode ser instalado no painel aviônico da aeronave, de modo que no T-27 encontra-se no *display* GDU 1060. Este sistema permite ao painel fornecer ao piloto, por meio de um PFD (*Primary Flight Display*) e um MFD (*Multifunction Display*), uma grande variedade de informações referentes ao voo, aeronave, meteorologia, tráfego, cartas, entre outros tópicos pertinentes a operação, que de maneira clara e precisa fornecem segurança e confiabilidade para os operadores (Garmin, 2014).

A mudança mais nítida aos olhos de quem observa o painel da aeronave modernizada é a ausência de instrumentos como o altímetro, indicador de curva e derrapagem, *climb* (indicador de razão de subida), horizonte artificial, entre outros instrumentos primários de voo, que agora estão contidos em uma única tela, apresentados ao piloto de forma clara.

Estes sistemas que agora integram o T-27 representam um avanço significativo em tecnologia aeronáutica, fornecendo uma maior qualidade e confiabilidade nas operações e instruções aéreas. Abaixo, pode ser observado, nas figuras 4 e 5, como foi a mudança do painel de instrumentos do T-27, saindo de uma interface mais robusta para outra bem mais limpa e intuitiva para o piloto em comando.



**Figura 4** Painel T-27 analógico

Fonte: Elaborado por Lacerda (2016)



**Figura 5** Painel T-27 Modernizado

Fonte: Elaborada por Wiltgen (2021)

O PFD é uma página do sistema Garmin que apresenta, de maneira mais compacta e prática, as informações de instrumentos primários do voo que, em um painel convencional, seriam fornecidos pelo velocímetro, altímetro, *climb*, HSI, DME, entre outros equipamentos (Polak, Filho,

2021). Este tipo de interface mostra-se consideravelmente mais prático para tripulação interpretar as informações que são apresentadas, tendo em vista que os dados de voo são organizados de forma clara para o piloto como pode ser observado na figura 6.



**Figura 6** PFD (*Primary Flight Display*)

Fonte: Manual Garmin (2023)

De acordo com Garmin (2014), o MFD presente no T-27 possui uma grande quantidade de páginas de funcionalidades para o piloto. Dentre estas páginas, vale destacar a página *Traffic* que disponibiliza à tripulação informações detalhadas de demais aeronaves em voo, como altitude, posição, deslocamento, identificação, entre outros dados. Este tipo de informação mostra-se de grande valia, tendo em vista que o piloto obtém uma maior consciência do que está ao seu redor. Outra página que disponibiliza uma grande facilidade é a *Map*, que exibe um mapa interativo no *display* da aeronave, facilitando a orientação do piloto dentro do local em que a aeronave se encontra (Garmin, 2014).

Essas funcionalidades representam grandes avanços em tecnologia aeronáutica quando realizado um comparativo entre os modelo analógico no T-27 e o modelo modernizado.

Outro sistema integrado na aeronave que agregou de forma significativa para sua performance é o GTN 650, por meio do qual se faz a escolha das frequências utilizadas para

comunicação e procedimentos além de exercer também as funções de *transponder*, *Direct-to*, *Default Navigation*, *Nearest Airport*, entre outras relacionadas à navegação aérea (Garmin, 2023). Bem como o G600, o GTN 650 é mais um equipamento que reduz a carga de trabalho do piloto, cooperando para um aumento dos níveis de segurança do voo, sendo um importante tópico que será trabalhado nesta pesquisa.

O GTN 650 é capaz de trazer diversos auxílios à tripulação presente na aeronave, colaborando de maneira significativa para uma operação mais segura e eficiente, oferecendo recursos de navegação avançados com capacidades RNP (*Required Navigation Performance*) e GNSS (*Global Navigation Satellite System*), proporcionando procedimentos mais precisos.

### 3 DISCUSSÃO DE DADOS

O processo de modernização da aeronave T-27 representa um grande avanço em termos de tecnologia e segurança de voo. O cockpit analógico, caracterizado por seus instrumentos tradicionais e limitações de informação, foi substituído por telas multifuncionais e sistemas digitais avançados no glass cockpit. Essa mudança ofereceu aos pilotos uma interface mais intuitiva e informativa, facilitando uma visualização e interpretação mais eficaz dos dados de voo em tempo real.

Foi possível verificar que a troca de um painel analógico para um *display* moderno e atual em relação ao cenário da aviação mundial, é um processo que agrega grandes benefícios para o piloto, conseqüentemente gerando uma melhor instrução. O PFD do G600 é capaz de condensar informações dos instrumentos primários de voo em uma única interface, facilitando assim a interpretação das condições de voo por parte do piloto, além de reduzir a carga de trabalho sobre a tripulação.

Outro fator de grande relevância a ser considerado é a presença do MFD, que disponibiliza à tripulação da aeronave uma grande variedade de auxílios e funcionalidades que facilitam a condução de um voo seguro. A utilização da página *Traffic*, por exemplo, baseando em dados do ADS-B, é capaz de fornecer ao piloto a posição de aeronaves próximas, além de detalhes a respeito desses tráfegos, como altitude, vetores de deslocamento, tipo de tráfego, proporcionando um grande ganho em consciência situacional que não era possível se alcançar no modelo mais antigo do T-27, sendo de grande valia para instrução aérea e para a segurança do voo no geral.

Além da página *Traffic*, outra ferramenta disponível para a tripulação é a página *Map*. Esta função disponibiliza um mapa interativo para o piloto, sendo capaz de fornecer diversas informações pertinentes ao voo. Na instrução aérea, esta ferramenta possibilita o piloto em comando da aeronave conduzir seu voo sem ultrapassar os limites das áreas destinadas à instrução, ou até mesmo visualizar o posicionamento em tempo de real aeronaves no mapa exibido, colaborando assim para uma melhor condução do voo dentro das áreas previstas para o voo, evitando também situações desconfortáveis com outras aeronaves.

*Map* e *Traffic* são duas ferramentas que elevam significativamente o nível de consciência situacional da tripulação devido principalmente às suas características de apresentar ao piloto os elementos presentes no ambiente de voo. Levando isso em consideração, torna-se claro que a utilização destes equipamentos no cenário de instrução é um fator que contribui para o monitoramento do espaço aéreo e, conseqüentemente, para a segurança de voo.

Em conjunto com os novos sistemas, as capacidades RNP e RNAV no T-27 modernizado demonstram comprometimento com a manutenção da excelência na instrução. Estas capacidades possibilitam a aeronave realizar procedimentos e navegações de maneira mais precisa do que era realizado anteriormente com o modelo analógico. Além da precisão, vale ressaltar o ganho em eficiência nas operações aéreas, bem como a possibilidade de operar mais regiões.

Fazendo uma análise dos estudos de Magalhães (2023), é possível entender como a obsolescência dos sistemas de uma aeronave militar é capaz de influenciar não somente a segurança de voo, mas também o desempenho da aeronave em missões e até mesmo a progressão operacional de seus pilotos. Fazendo um paralelo do C-97 com o T-27, torna-se claro a necessidade de manter os sistemas de um treinador, como o *Tucano*, atualizados em relação ao que se tem de mais moderno na aviação mundial, tendo em vista que os pilotos formados na AFA serão inseridos nesse meio após o fim de sua formação.

Outro importante ponto que deve ser considerado é a percepção de segurança limitada que uma aeronave pode transmitir à sua tripulação, quando equipada com sistemas obsoletos, devido a situações de desconforto passadas pelos pilotos. Este fator é de grande valia para o fortalecimento da necessidade de modernização das aeronaves, tendo em vista que a segurança em voo é uma das prioridades na aviação.

O ADS-B destaca-se como uma das principais tecnologias de vigilância aérea da atualidade. Ter este tipo de tecnologia na aeronave de treinamento da Academia da Força Aérea, demonstra um elevado nível de preocupação com a qualidade e segurança da instrução aérea nesta organização.

Este sistema se faz extremamente útil ao analisarmos a sua finalidade para a aviação, já que sua capacidade de vigilância se diferencia dos sistemas mais utilizados nos últimos anos.

A capacidade de transmitir e receber dados de vigilância entre aeronaves em voo e controladores no solo, mostra-se um excelente artifício para o aumento da consciência situacional dos pilotos. Na AFA, o ADS-B é capaz de evitar inúmeras situações desconfortáveis ao piloto, como um eventual conflito de tráfego, que anteriormente era balizado unicamente com auxílio do controle. Com o ADS-B, a própria aeronave portadora deste sistema recebe as informações da aeronave em questão em seu próprio equipamento, facilitando assim, a condução de um voo seguro.

Outro ponto a ser considerado foi o ganho em consciência situacional que os novos sistemas da aeronave são capazes de proporcionar. A apresentação de elementos significantes para o piloto está agora muito mais clara e intuitiva, facilitando a compreensão do ambiente por parte da tripulação.

Como foi abordado neste artigo, o nível de consciência situacional está condicionado à forma como o piloto é capaz de observar, identificar e processar os elementos presentes no meio em que a aeronave se encontra. Levando isso em consideração, é possível afirmar que uma aeronave com sistemas que facilitam este processo estará contribuindo para o aumento da consciência situacional do piloto, proporcionando uma operação mais segura.

Segundo Kunzi (2011), o ADS-B melhora a segurança operacional e eficiência das operações aéreas, aumentando a precisão e confiança nas operações, especialmente em áreas com alto tráfego aéreo. Dessa forma, o sistema ADS-B trouxe um avanço significativo na vigilância aérea, permitindo que os pilotos recebam informações sobre outras aeronaves em voo e condições meteorológicas, o que aumenta a segurança e evita potenciais conflitos de tráfego.

Considerando o que foi descrito a respeito da instrução aérea na AFA, os militares a bordo do T-27 são rotineiramente submetidos a situações em que o monitoramento apurado do espaço é fator crucial para evitar uma possível colisão. De acordo com o estudo de Furno (2010), apresentado nesta pesquisa, a presença de sistemas que forneçam dados informacionais referentes aos elementos presentes no ambiente é item diferencial para garantia de uma consciência situacional adequada.

Tendo isso em vista, e o que foi elucidado no decorrer da pesquisa sobre o ADS-B, é possível compreender que a presença desse sistema na aeronave torna-se um fator de grande auxílio para elevar o nível de consciência situacional na instrução aérea, conseqüentemente, agregar na segurança de voo, principalmente em momentos mais críticos do voo.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi elucidado nesta pesquisa, pode-se concluir que a modernização dos sistemas aviônicos das aeronaves é um processo inerente à realidade da aviação no geral, o que de fato contribui para uma maior eficiência e segurança nas operações aéreas. O ganho em aspectos como consciência situacional e qualidade de dados e informações são dois grandes e importantes pontos que transformam a forma como a tripulação encara as situações do ambiente em que a aeronave se encontra.

A transição dos painéis analógicos do T-27 para os novos displays digitais fazem com que a qualidade das informações emitidas à tripulação transformem o voo de instrução em uma atividade mais segura, tendo em vista que a percepção dos elementos do ambiente ao redor da aeronave se torna muito mais fácil e intuitiva, o que diminui a carga de trabalho dos pilotos em comando. Este tipo de informação é crucial em ambientes dinâmicos e mais congestionados que necessitem de uma atenção maior do piloto. Sendo assim, o ADS-B torna-se um excelente auxílio para a vigilância do espaço aéreo, diminuindo as chances da ocorrência de acidentes e incidentes aéreos.

No contexto da formação dos Oficiais Aviadores da FAB, a modernização do T-27 desempenha um papel fundamental na preparação dos cadetes para a moderna realidade da aviação militar, além de fornecer um produto mais qualificado para os esquadrões da Força Aérea Brasileira. A preparação para este ambiente moderno contando com treinamentos específicos e eficientes contribui para formação de oficiais cada vez mais qualificados e conscientes da importância da segurança de voo nas operações aéreas, bem como o conhecimento da necessidade de uma contínua atualização técnica das aeronaves em relação à realidade da aviação mundial.

Este estudo também serve como uma forma de incentivar o processo de modernização de demais aeronaves da FAB, tendo como parâmetros para verificar a relevância deste processo, os resultados obtidos a partir do T-27. Verificou-se que a modernização dos aviônicos da aeronave foi capaz de aumentar não só a segurança dos voos, mas também a qualidade das operações aéreas em termos de eficiência e capacidade operacional. Levando isso para o âmbito da Força Aérea, é extremamente interessante que a FAB possa operar com aeronaves cada vez mais atualizadas em relação à realidade da aviação em todo o mundo, mantendo um elevado nível de capacitação e operacionalidade de seus pilotos e aviões.

Como conclusão, a modernização da aeronave T-27 representa para a Academia da Força Aérea não somente um avanço tecnológico mas também um compromisso com a excelência operacional e a segurança aérea. As melhorias em consciência situacional proporcionadas pelos novos sistemas da aeronave, em conjunto com o ADS-B, agregam de forma significativa em segurança, eficiência operacional e qualidade das instruções aéreas, destacando a importância de investimentos em tecnologia aeronáutica e treinamentos para manter um excelente nível de formação dos Oficiais Aviadores da Força Aérea Brasileira.

## 5 REFERÊNCIAS

AMARAL POLAK, Pedro; DA COSTA FILHO, José A. Gomes. Uma análise do sistema garmin G1000: funções instaladas no glass cockpit. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 37634-37674, 2021.

BABUROV, S. V. et al. **Development of Navigation Technology for Flight Safety**. Springer, 2020

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Academia da Força Aérea. Divisão de Operações Aéreas. **Manual de Instrução de Voo T-27**. Pirassununga, SP, 2024.

CARDOSO, Luiz Henrique Filadelfo. **Gestão do risco cibernético à implantação ADS-B no âmbito do SISCEAB por meio do método de Gerenciamento de Riscos à Segurança Operacional (GRSO)**. 2024

ČESTIĆ, Miroslav M.; SOKOLOVIĆ, Vlada S.; DODIĆ, Marjan D. Technical aspects of flight safety of military aircraft. **Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier**, v. 70, n. 4, p. 1017-1038, 2022.

DEMO, Mauriceia Aparecida de Oliveira. **A formação de oficiais e as políticas educacionais da Academia da Força Aérea Brasileira**. 2006.

ENDSLEY, Mica R. et al. Situation awareness in aviation systems. **Handbook of aviation human factors**, v. 11, p. 257-276, 1999.

FICOVA, Daniela et al. Effects of automation and electronic devices on board aircraft on pilot skills, training requirements and flight safety. **Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law**, v. 20, n. 4, p. 242-269, 2016.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). **Notícias - Modernização do T 27 chega ao DCTA**. Disponível em:

<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/39781/MODERNIZA%C3%A7%C3%A3O%20-%20Aeronave%20T-27%20modernizada%20chega%20ao%20DCTA>. Acesso em: 29 jun. 2023.

FURNO, Domenico; LOIA, Vincenzo; VENIERO, Mario. A fuzzy cognitive situation awareness for airport security. **Control and cybernetics**, v. 39, n. 4, p. 960-982, 2010.

GARMIN. **G600**. Disponível em: <https://www.garmin.com/pt-BR/p/6427>. Acesso em: 1 jul. 2023.

GARMIN. **GTN 650**. Disponível em: <https://www.garmin.com/pt-BR/p/67884>. Acesso em: 1 jul. 2023.

HENRIQSON, Éder et al. Consciência situacional, tomada de decisão e modos de controle cognitivo em ambientes complexos. **Production**, v. 19, p. 433-444, 2009.

ITA, Daniel Alberto PAMPLONA. **análise do conceito de espaço aéreo baseado em performance (PBN)**.

JONES, Debra G.; ENDSLEY, Mica R. Sources of situation awareness errors in aviation. **Aviation, space, and environmental medicine**, v. 67, n. 6, p. 507-512, 1996.

KUNZI, Fabrice. **ADS-B benefits to general aviation and barriers to implementation**. 2011. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology.

MAGALHÃES, Leonardo Carvalho. **A Influência da Modernização dos Equipamentos de Navegação Aérea na Aeronave C-97 Brasília da Força Aérea Brasileira**. 2023. Tese de Doutorado. Escola de Comando e Estado Maior da Aeronáutica

MOIR, Ian; SEABRIDGE, Allan. **Aircraft Systems: Mechanical, electrical, and avionics subsystems integration**. John Wiley & Sons, 2011.

ROSA, Carlos Eduardo Dias et al. **Consciência situacional nos cockpits**. 2022.

SCARSO, Renan Emílio; DOS SANTOS, Roberto Márcio. Ads-b: Custo-benefício para a aviação geral brasileira. **RETEC-Revista de Tecnologias**, v. 11, n. 1, 2018.

STROHMEIER, Martin; LENDERS, Vincent; MARTINOVIC, Ivan. **Security of ADS-B: State of the Art and Beyond**.

TECNO DEFESA. **Presente e futuro: um panorama dos programas da FAB**. Disponível em: <https://tecnodefesa.com.br/presente-e-futuro-um-panorama-dos-programas-da-fab/>. Acesso em: 24 jun. 2024.