



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

JULIAN DIAS **MOREIRA**, Cap Av

**Homologação para realizar Navegação Baseada em Performance nas
aeronaves C-97 da Força Aérea Brasileira**

Rio de Janeiro

2023

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

JULIAN DIAS **MOREIRA**, Cap Av

Homologação para realizar Navegação Baseada em Performance nas aeronaves C-97 da Força Aérea Brasileira

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

Linha de Pesquisa: Ciência, tecnologia e inovação

Orientador: Wellington Azevedo dos Santos, Maj Inf

Rio de Janeiro

2023

JULIAN DIAS **MOREIRA**, Cap Av

Homologação para realizar Navegação Baseada em Performance nas aeronaves C-97 da Força Area Brasileira

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

Aprovado por:

Wellington Azevedo dos Santos, Maj Inf
EAOAR

Robertha Lima Souza da Silva, Cap Av
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

RESUMO

A constante evolução tecnológica nos segmentos aeronáuticos apresentou resultados muito positivos na segurança de voo e na eficiência da atividade aérea na história da aviação. Alguns dos avanços tecnológicos foram especialmente relevantes para esses resultados, como é o caso da implantação da PBN (Navegação Baseada em Performance) a partir da década de 90. Essa tecnologia proporcionou expressivas mudanças na navegação aérea mundial. Como um projeto da década de 80, atualmente, as aeronaves C-97 da FAB não dispõem de homologação para realizar PBN e, para tal, há a necessidade de modernização do sistema de aviônicos. Nesse contexto, o presente ensaio defende que a homologação para realizar PBN nas aeronaves C-97, por meio da modernização do sistema de aviônicos, ampliará a operacionalidade das aeronaves nas Unidades que utilizam esse projeto na FAB. Um dos motivos para essa homologação é o fato de que as aeronaves poderão aproximar-se sob IFR (*Instrument Flight Rules*) em aeródromos que somente dispõem de procedimentos RNP (*Required Navigation Performance*), o que ampliará sua capacidade operacional, proporcionando voo por instrumentos para mais localidades. Ademais, essa homologação melhorará a segurança de voo, pois possibilitará rotas com elevada precisão e confiabilidade, diminuição da carga de trabalho para pilotos e controladores e proporcionará a diminuição dos riscos de acidente causado por CFIT (*Controlled Flight Into Terrain*). Adicionalmente, a tese apresentada pode ser ampliada para outras aeronaves da FAB que não dispõem de aprovação PBN, o que contribuirá para uma Força Aérea moderna e para voos cada vez mais seguros.

Palavras-chave: C-97 Brasília. PBN. RNAV. RNP.

1 INTRODUÇÃO

A aeronave EMBRAER 120, denominada C-97 Brasília na aviação militar, é um projeto da EMBRAER da década de 80. Com uma capacidade para 30 passageiros, cabine pressurizada e uma performance que permite o voo em Espaço Aéreo Superior, esse turboélice bimotor é empregado em diferentes UAE (Unidades Aéreas) da FAB, cumprindo uma elevada gama de missões.

As constantes evoluções tecnológicas levaram a mudanças significativas na navegação aérea, a partir da década de 90, com o advento do GNSS (*Global Navigation Satellite System*). O GNSS possibilitou a realização de navegação aérea por satélite e o desenvolvimento de procedimentos de chegada, saída e aerovias RNAV (*Area Navigation*) e procedimentos de aproximação RNP (*Required Performance Navigation*), que se utilizam da tecnologia de PBN (Navegação Baseada em Performance) para prover navegação sob Regras de Voo por Instrumentos de elevada precisão nas diferentes fases do voo.

Nessa conjuntura de avanços tecnológicos, sobretudo em relação à utilização cada vez mais expressiva de navegação por satélite, a aeronave C-97, por não dispor de homologação para realizar PBN, tem significativas restrições de operação, que incluem a ausência de aprovação para realizar procedimentos de chegada por instrumentos nos numerosos aeródromos que dispõem somente de procedimentos RNAV e RNP. Para aprovação PBN nessa aeronave, há a necessidade de modernização do sistema de aviônicos, haja vista que os aviônicos atuais não atendem aos requisitos específicos de homologação.

Dessa forma, o presente ensaio defende que a homologação para realizar PBN nas aeronaves C-97, por meio da modernização do sistema de aviônicos, ampliará a operacionalidade das aeronaves nas UAE que utilizam o projeto na FAB.

Um dos motivos para essa homologação é o fato de que as aeronaves C-97 poderão aproximar-se sob IFR em aeródromos que atualmente somente dispõem de procedimentos RNP, o que sua ampliará a capacidade operacional, proporcionando voo por instrumentos para mais localidades.

O segundo motivo é que essa homologação melhorará a segurança de voo nas operações da aeronave, já que possibilitará a realização de rotas com elevada precisão e confiabilidade, a diminuição da carga de trabalho para pilotos e

controladores e, adicionalmente, proporcionará a diminuição dos riscos de acidente causado por CFIT.

2 DESENVOLVIMENTO

A história da Navegação Baseada em Performance iniciou-se a partir da introdução da tecnologia denominada GNSS na aviação. O GNSS é um sistema de navegação global que utiliza constelação de satélites para fornecer informações de posicionamento e velocidade. A cobertura de satélites possibilitou o desenvolvimento de procedimentos IFR baseados em fixos de Navegação de Área, sem necessidade de antenas em solo.

“As primeiras utilizações do GNSS vieram em 1993, apoiando operações em rotas (domésticas e oceânicas), terminais e aproximação de não-precisão.” (ICAO, 2017, p. 1-2). Os pilotos utilizam as informações de posicionamento do GNSS para navegar durante o voo, desde a decolagem até o pouso, desde que a aeronave disponha de PBN.

O GNSS permite uma navegação mais precisa e eficiente, com rotas diretas, diferentemente da navegação convencional, que se utiliza de antenas de VOR (*Very High Frequency Omnidirectional Range*), NDB (*Non-Directional Radio Beacon*) em solo e distância DME (*Distance Measuring Equipment*) de estações em solo.

2.1 Homologação para realizar PBN no C-97 e os ganhos operacionais com a ampliação do cenário de atuação da aeronave

O Brasil, como signatário da Convenção da Aviação Civil Internacional de Chicago, tem a responsabilidade de cumprir as normas e recomendações da ICAO (*International Civil Aviation Organization*), de acordo com possibilidades e com interesses nacionais. Em 1991, o conceito de CNS/ATM (Comunicação, Navegação, Vigilância e Gerenciamento do Tráfego Aéreo) foi aprovado pela ICAO. Posteriormente, o conceito foi abordado na segunda edição do Plano Global de Navegação Aérea daquela organização, denominado Plano Global de Navegação Aérea para Sistemas CNS/ATM. Dentre as diretrizes, encontrava-se a “[...] implementação progressiva dos recursos de navegação de área (RNAV) e do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).” (ICAO, 2002, p. 1-1-3). Houve, por

consequente, um trabalho de implementação da PBN no Brasil, por meio do Plano de Implementação ATM Nacional, no qual consta que “[...] como resultado o uso das técnicas PBN, a circulação das TMA vem sendo continuamente aperfeiçoada [...]” (BRASIL, 2021, p. 28). Conforme Brasil (2011), a implantação do CNS/ATM implica no “uso intensivo da navegação baseada em satélites em substituição progressiva de sistemas terrestres para navegação em rota e aproximações”. Isso resultou em um planejamento nacional, em consonância com a ICAO, norteado pela ampliação da navegação por satélite e redução dos meios disponíveis para navegação convencional.

Para exemplificar, em consulta ao Plano de Desativação Gradual das Estações de NDB, publicado no AIC (Circular de Informações Aeronáuticas) 04/20, observa-se que há a previsão de desativação de um total de 85 estações de NDB entre 2020 e 2025 (BRASIL, 2020, p. 5-7). Dentre essas estações, está, por exemplo, o NDB AFS, que balizava os únicos procedimentos de aproximação IFR convencionais de SBAF (Base Aérea dos Afonsos), e que já se encontra desativado. Desse modo, atualmente o C-97 somente consegue pousar em SBAF operando sob Regras de Voo Visual. Se o aeródromo estiver operando por instrumentos, o C-97 precisará alternar o pouso para outra localidade. Outro exemplo é o aeroporto de Santarém-PA, em que, atualmente, o único procedimento disponível para a pista 28 requer RNP por parte da aeronave. Nessas situações, o C-97 fica restrito à operação sob VMC (Condições Meteorológicas de Voo Visual), ou seja, se o aeródromo estiver operando sob IMC (Condições Meteorológicas de Voo por Instrumentos), não será possível realizar a aproximação e o pouso. Atualmente, conforme ressalta Brasil (2021, p. 28), todos os aeródromos que operam IFR têm procedimentos PBN, que geram maior capacidade e confiabilidade nas operações aéreas. Para Scussel (2018, p. 6) a Navegação Baseada em Performance é uma ferramenta fundamental e tida como prioridade da ICAO. Essa prioridade da ICAO, reflete no desuso gradativo de procedimentos IFR convencionais e a operação IFR no C-97 fica cada vez mais defasada.

“A PBN tem como uma das vantagens a otimização das trajetórias de chegada aos aeroportos e ao espaço aéreo, em qualquer condição meteorológica [...] e consequente redução de mínimos operacionais de teto e visibilidade.” (BRASIL, 2018, p. 3). Desse modo, a homologação para realizar PBN ampliará a capacidade operacional do C-97 diante de meteorologia adversas, já que nos aeródromos que só operam com PBN, essa aeronave não pode se aproximar por instrumentos. Para

López-Lago (2019, p. 455), o conceito de PBN elimina restrições de operação que existem com os auxílios terrestres da navegação convencional e proporciona eficiência no sequenciamento do tráfego aéreo. Nesse cenário a aprovação PBN no C-97 representará expansão das capacidades, eliminando restrições à operação e permitindo que a aeronave permaneça no sequenciamento de tráfego, nos procedimentos de chegada e aproximação, sem necessidade de voo sob orientação do ATC (*Air Traffic Control*).

Outro aspecto relevante em relação à melhoria na capacidade operacional é a possibilidade de realização de aproximações com curvas, a depender da aprovação PBN específica da aeronave. No Brasil, as aproximações com curvas estão presentes, por exemplo, no aeródromo de Santos Dumont (SBRJ). Sobre esse tipo de aproximação, proporcionada pela PBN, aponta López-Lago *et al* (2019, p. 457) que melhoram a eficiência operacional, descongestionam as Áreas de Controle de Terminal, reduzem o número de aproximações perdidas e proporcionam formas novas de operação em pistas não equipadas com ILS (*Instrument Landing System*) ou outros auxílios em solo.

Diante do exposto, fica evidente que, com PBN, haverá significativo ganho operacional para o C-97, já que ampliará a possibilidade de operação IFR para mais aeródromos, possibilitando o pouso sob meteorologia adversa em aeródromos que operam somente com RNP, otimizará as trajetórias de voo e diminuirá as aproximações perdidas, ampliando o cenário de operação da aeronave.

2.2 Homologação de PBN no C-97 e impactos positivos na segurança de voo

Scussel (2018, p. 6) ressalta que “Atualmente, a PBN, permite que as aeronaves voem com mais precisão e segurança, em relação ao voo convencional”. Essa precisão é possível em função da confiabilidade em manter a aeronave dentro do desvio máximo permitido para cada fase do voo, havendo um constante monitoramento desse desvio. Conforme Ostroumov, Kharchenko e Kuzmenko (2019, p. 36) precisão se refere à diferença entre a posição estimada e a posição real da aeronave. Zhu *et al* (2022, p. 1) cita que o procedimento RNP “[...] pode realizar uma navegação de maior precisão e depende apenas do sistema global de rádio navegação por satélite”. Nessa conjuntura, a homologação para realizar PBN no C-97, contribuirá para a elevação da precisão da navegação, o que se relaciona

diretamente à elevação da segurança de voo, mormente quando se trata das fases mais críticas, quais sejam, aproximação e pouso.

No que diz respeito às chegadas por instrumentos, a ausência de chegadas convencionais nos maiores aeroportos do país, torna-se um óbice relacionado à segurança de voo quando em se tratando do C-97. Para exemplificar essa dificuldade, dentre os aeroportos de Congonhas-SP (SBSP), Internacional de Guarulhos-SP (SBGR), Internacional do Galeão-RJ (SBGL) e Internacional de Brasília-DF (SBBR), apenas SBBR possui procedimento de chegada por instrumentos convencional. Os demais aeroportos supramencionados possuem apenas procedimentos de chegada RNAV. Dessa forma, a chegada é, muitas vezes, realizada sob vetoração do ATC, de modo a prover a separação e o sequenciamento do tráfego, o que aumenta significativamente a carga de trabalho de pilotos e controladores. Sobre a carga de trabalho, aponta Brasil (2021, p. 3) que, entre os benefícios da PBN, encontra-se a “[...] redução da carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo e do piloto, considerando que o emprego de trajetórias RNAV e/ou RNP reduzirá a necessidade de vetoração radar e de comunicações”. Para López-Lago *et al* (2019, p. 455) a PBN permite um “[...] *design* mais seguro e eficiente do espaço aéreo ao segregar o tráfego aéreo dentro dos aeroportos durante os trajetos e rotas de chegada e partida”. Isto é, a homologação para realizar PBN no C-97 proporcionará redução da carga de trabalho de pilotos e controladores, contribuindo para a elevação da segurança de voo.

Por outro lado, há também a possibilidade de redução de CFIT. A FAA (2003, p. 9) cita que o CFIT normalmente ocorre em alta velocidade, resultando em muitos dos acidentes fatais da aviação. Sobre CFIT, ressalta a ICAO (2013, p. I-A-2-2) que o *design* do procedimento de aproximação RNP pode contribuir para a melhoria da segurança por meio da redução desse tipo de acidente. Segundo Brasil (2018, p. 3), a PBN possibilita evitar condições críticas de relevo, por meio da utilização de trajetórias RNAV e/ou RNP. Para Leão *et al* (2021, p. 48-49), frente a condições latentes de baixa visibilidade, IMC e falta de referências visuais, a aproximação com PBN mostra-se um dos métodos essenciais para redução do risco de CFIT. Dessa forma, devido à elevada precisão e confiabilidade da tecnologia, a operação PBN no C-97 reduzirá a possibilidade desse tipo de acidente.

Em síntese, a homologação para realizar PBN para o C-97 impactará positivamente no aumento da segurança de voo, proporcionando rotas e

procedimentos IFR mais precisos, reduzindo a carga de trabalho de pilotos e controladores e reduzindo a possibilidade de CFIT.

3 CONCLUSÃO

A tecnologia relacionada à aviação evolui rapidamente. O advento da navegação aérea por satélite, por meio de GNSS deu origem à Navegação Baseada em Performance, a qual, por conseguinte, possibilitou o desenvolvimento de rotas e procedimentos RNAV e de aproximações RNP.

A aeronave C-97 da FAB possui, atualmente, tecnologia embarcada desatualizada e não dispõe de homologação para realizar PBN. Para aprovação PBN nessa aeronave, há a necessidade de modernização do sistema de aviônicos, haja vista que os aviônicos atuais não atendem aos requisitos específicos de homologação.

Essa homologação possibilitará a operação sob Regras de Voo por Instrumentos em aeródromos que atualmente somente dispõem de aproximação RNP, o que ampliará a capacidade operacional, proporcionando voo por instrumentos para mais localidades. Ademais, a homologação melhorará a segurança de voo nas operações da aeronave, já que possibilitará a realização de rotas com elevada precisão e confiabilidade, a diminuição da carga de trabalho para pilotos e controladores e, adicionalmente, proporcionará a diminuição dos riscos de acidente causado por CFIT.

Desse modo, em consonância com as manifestas fundamentações apontadas e analisadas no presente ensaio, resta evidente que a homologação para realizar PBN nas aeronaves C-97, por meio da modernização do sistema de aviônicos, ampliará a operacionalidade da aeronave nas UAE operadoras do projeto na FAB.

Cabe, por fim, destacar que há outras aeronaves da FAB que não dispõem de homologação para realizar PBN, devido às aviônicas desatualizadas, as quais não cumprem os requisitos para homologação. Citam-se, como exemplo, o C-98A *Grand Caravan* com instrumentação analógica e o A-29 Super Tucano. Dessa forma, a tese do presente ensaio pode ser expandida para essas outras aeronaves, já que, assim como no C-97, a homologação para realizar PBN, por meio da modernização do sistema de aviônicos, ampliará a operacionalidade desses vetores, contribuindo para uma Força Aérea moderna e para voos cada vez mais seguros.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) N 41/17: **Implementação Operacional do Conceito de Navegação Baseada em Performance (PBN) no Espaço Aéreo Brasileiro**. Rio de Janeiro, RJ, 1º mar. 2018. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/aic-n-4117>>. Acesso em 9 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) N 04/20: **Plano de desativação gradual das estações de NDB**. Rio de Janeiro, RJ, 2 jan. 2020. Disponível em <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/aic-n-0420>>. Acesso em 8 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria DECEA nº 268/APLAN, de 16 dez. 2021. Aprova a reedição do Plano de Implementação ATM Nacional (PCA 351-3). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Brasília, DF, n. 239, 30 dez. 2021.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. **Entenda o conceito CNS/ATM (Perguntas Frequentes)**. Brasília, DF, 21 set. 2011. Disponível em: <<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/8543/>>. Acesso em: 9 jun. 2023.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Advisory Circular nº 61-134: General Controlled Flight Into Terrain Awareness**. Washington, DC: FAA, 2003. Disponível em: <https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/ac61-134.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2023.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems**. 2. ed. Montreal, QC: ICAO, 2002. Disponível em: <https://www.icao.int/publications/Documents/9750_2ed_en.pdf >. Acesso em 9 jun. 2023.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Performance-Based Navigation (PBN) Manual**. 4. ed. Montreal, QC: ICAO, 2013.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Global Navigation Satellite System (GNSS) Manual**. 3. ed. Montreal, QC: ICAO, 2017. Disponível em:

<<http://www.icscc.org.cn/upload/file/20190102/Doc.9849->

[EN%20Global%20Navigation%20Satellite%20System%20\(GNSS\)%20Manual.pdf](http://www.icscc.org.cn/upload/file/20190102/Doc.9849-EN%20Global%20Navigation%20Satellite%20System%20(GNSS)%20Manual.pdf)>.

Acesso em 6 jun. 2023.

LEÃO, Marcelo Soares *et al.* A Ranking Method to Prioritize VFR Airports to be Provided Instrument Approach Procedures. **Collegiate Aviation Review**

International, Memphis, TN, v. 39, n. 2, p. 43, ago. 2021.

LÓPEZ-LAGO, Manuel *et al.* Present and future of air navigation: PBN operations and supporting technologies. **International Journal of Aeronautical and Space**

Sciences, Seoul, v. 21, n. 2, p. 451-468, out. 2019.

OSTROUMOV, Ivan; KHARCHENKO, Volodymur; KUZMENKO, Nataliia. An airspace analysis according to area navigation requirements. **Aviation**, Vilnius, v. 23, n. 2, p.

36-42, abr. 2019.

SCUSSEL, Marcelo. **Navegação Aérea Baseada em Performance**: vantagens

frente à navegação aérea convencional. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia)

- Programa de Pós-Graduação em Geografia, Brasília, DF, 2018.

ZHU, Longtao *et al.* DRL-RNP: Deep Reinforcement Learning-Based Optimized RNP Flight Procedure Execution. **Sensors**, Basileia, v. 22, n. 17, p. 6475, ago. 2022.